

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Katedra antropologie a genetiky člověka**

Studijní program: Biologie  
Studijní obor: Antropologie a genetika člověka



Bc. Tereza Korbelová

**Asymetrie obličeje dítěte a její změny od 3 do 15 let: transverzální studie**  
Facial asymmetry and its changes from 3 to 15 years of age: transversal study

**Diplomová práce**

Vedoucí práce: doc. RNDr. Jana Velemínská, Ph.D.

Praha, 2019

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 26. 4. 2019

Tereza Korbelová

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala své školitelce paní doc. RNDr. Janě Velemínské, Ph.D. za její cenné rady, odborné vedení a vstřícnost při konzultacích a vypracování této práce. Dále děkuji svým konzultantkám Mgr. Evě Hoffmannové a Mgr. Lence Jaklové za jejich ochotu zodpovědět všechny mé dotazy. V neposlední řadě děkuji i své rodině za podporu v průběhu celého studia.

## **Abstrakt**

Obličej člověka není dokonale symetrický, lehká asymetrie je běžná u každého jedince již v raném dětství. Diplomová práce se zabývá hodnocením obličejové asymetrie u dětí ve věku od 3 do 15 let na transverzálním souboru dat. Materiálem byly trojrozměrné virtuální modely obličeje dětí z Prahy a Středočeského kraje. Databáze obsahovala 442 3D faciálních skenů dívek a 396 3D faciálních skenů chlapců, které byly rozděleny do následujících věkových kategorií: 3 – 5 let (116 dívek, 98 chlapců), 6 – 8 let (117 dívek, 100 chlapců), 9 – 11 let (80 dívek, 80 chlapců) a 12 – 15 let (129 dívek, 118 chlapců). Pro analýzu dat byly využity metody geometrické morfometrie, která umožňuje srovnání morfometrických dat odpovídajících párových struktur na levé a pravé straně originálního snímku s jeho zrcadlovým obrazem. Výsledky byly vizualizovány pomocí superprojekčních barevných map a map signifikancí.

U obou pohlaví byla zaznamenána pravostranná protruze obličejových struktur ve všech věkových kategoriích, což bylo předpokladem první hypotézy. Výjimku tvořila pouze oblast nosu u chlapců ve věku 12 – 15 let. U nejmladších dětí byla pozorována výrazná asymetrie v oblasti čela, která se s přibývajícím věkem zmírňovala a ustupovala laterálně. Naopak u starších dětí se objevila asymetrie v oblasti tváří, v pozdějším věku u dívek i v oblasti brady a dolní čelisti. Trendem obličejové asymetrie s přibývajícím věkem tedy bylo ustoupení v horní třetině obličeje a naopak zvýraznění ve střední a spodní třetině. Nicméně hypotéza předpokládající nejvýraznější asymetrii ve střední třetině u dětí prepubertálních a ve spodní třetině u dětí v pubertě potvrzena nebyla. Z hlediska pohlavního dimorfismu obličejové asymetrie byly výrazné rozdíly mezi dívkami a chlapci patrné ve věkové kategorii 6 – 8 let v oblasti čela a okolí oka a následně ve věku od 12 do 15 let v oblasti nosu. Výsledky této studie nepotvrdily výraznější obličejovou asymetrii u chlapců ve věku 12 – 15 let ve srovnání se stejně starými dívkami. Závěrečné srovnání výsledků asymetrie na základě longitudinálních a transverzálních dat ukázalo, že se výsledky získané různým typem sběru dat lišily.

## **Klíčová slova**

Asymetrie obličeje dítěte, direkcionalní asymetrie, vývoj asymetrie, pohlavní dimorfismus, geometrická morfometrie

## **Abstract**

Human face is not perfectly symmetrical, slight asymmetry is common in every individual in early childhood. The thesis deals with the evaluation of facial asymmetry in children aged 3 to 15 years on a transversal data set. As a material was used three-dimensional virtual models of the faces of children from Prague and Central Bohemia. The database contained 442 3D facial scans of girls and 396 3D facial scans of boys, divided into the following age categories: 3 – 5 years (116 girls, 98 boys), 6 – 8 years (117 girls, 100 boys), 9 – 11 years (80 girls, 80 boys) and 12 – 15 years (129 girls, 118 boys). Geometric morphometry methods were used to analyze the data, comparing the morphometric data of the corresponding paired structures on the left and right sides of the original image with its mirror counterpart. The results were visualized using super-projected color maps and significance maps.

In both sexes, right-side protrusion of facial structures was found in all age categories, which was the assumption of the first hypothesis. The only exception was the nose area in boys aged 12–15. Significant asymmetry of the forehead area was observed in the youngest children and it diminished with age and receded laterally. On the contrary, asymmetry of the cheeks area occurred in older children, later in girls also in the chin and jaws area. Thus, the trend of facial asymmetry with increasing age was the retreat in the upper third of the face and, conversely, the accent in the middle and lower third. However, the hypothesis assuming the most pronounced asymmetry in the middle third in prepubertal children and in the lower third in puberty children was not confirmed. In terms of sexual dimorphism of the facial asymmetry, significant differences between girls and boys were evident in the 6 to 8 year olds in the forehead and eye area and subsequently in the nose area from the age of 12 to 15 years. The results of this study did not confirm a more pronounced facial asymmetry in boys between 12 and 15 years of age compared to girls of the same age. The final comparison of asymmetry results based on longitudinal and transversal data showed that the results obtained by the different data collection varied.

## **Keywords**

Facial asymmetry of the child, directional asymmetry, development of asymmetry, sexual dimorphism, geometric morphometry

# Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2. Teoretický úvod</b>	<b>10</b>
2.1. Asymetrie lidského obličeje	10
2.1.1. Základní typy asymetrií	11
2.1.2. Důvody studia a možnosti jeho využití	13
2.1.3. Způsoby měření a hodnocení	14
2.2. Asymetrie obličeje dítěte	16
2.2.1. Růst obličeje a jeho vývoj v dětství	16
2.2.2. Faktory ovlivňující nesouměrnost	17
2.2.3. Obličejová asymetrie ve vztahu k pohlavnímu dimorfismu	19
2.2.4. Obličejová asymetrie ve vztahu k lateralizaci	21
2.2.5. Longitudinální a transversální studie	23
<b>3. Cíle práce a hypotézy</b>	<b>25</b>
<b>4. Materiál</b>	<b>26</b>
<b>5. Metodologie</b>	<b>27</b>
5.1. Pořízení a úprava dat	27
5.2. Analýza dat	29
5.2.1. Coherent point drift – Dense correspondence analýza	29
5.2.2. Analýza asymetrie	30
5.2.3. T-test	32
<b>6. Výsledky</b>	<b>33</b>
6.1. Hodnocení asymetrie obličeje v jednotlivých věkových kategoriích	33
6.1.1. Dívky ve věku od 3 do 5 let	34
6.1.2. Dívky ve věku od 6 do 8 let	35
6.1.3. Dívky ve věku od 9 do 11 let	36
6.1.4. Dívky ve věku od 12 do 15 let	37
6.1.5. Chlapci ve věku od 3 do 5 let	39
6.1.6. Chlapci ve věku od 6 do 8 let	40
6.1.7. Chlapci ve věku od 9 do 11 let	41
6.1.8. Chlapci ve věku od 12 do 15 let	42
6.2. Srovnání asymetrie v po sobě jdoucích věkových kategoriích u dívek a u chlapců	44
6.2.1. Srovnání věkové kategorie 3 – 5 a 6 – 8 let u dívek	44

6.2.2. Srovnání věkové kategorie 6 – 8 a 9 – 11 let u dívek.....	45
6.2.3. Srovnání věkové kategorie 9 – 11 a 12 – 15 let u dívek.....	46
6.2.4. Srovnání věkové kategorie 3 – 5 a 6 – 8 let u chlapců .....	48
6.2.5. Srovnání věkové kategorie 6 – 8 a 9 – 11 let u chlapců .....	49
6.2.6. Srovnání věkové kategorie 9 – 11 a 12 – 15 let u chlapců .....	50
6.3. Hodnocení rozdílu asymetrie mezi dívkami a chlapci v rámci jednotlivých věkových kategorií.....	52
6.3.1. Vliv pohlavního dimorfismu na asymetrii obličeje v kategorii 3 – 5 let.....	52
6.3.2. Vliv pohlavního dimorfismu na asymetrii obličeje v kategorii 6 – 8 let .....	53
6.3.3. Vliv pohlavního dimorfismu na asymetrii obličeje v kategorii 9 – 11 let .....	54
6.3.4. Vliv pohlavního dimorfismu na asymetrii obličeje v kategorii 12 – 15 let .....	55
6.4. Srovnání výsledků asymetrie sledované na základě transversálních a longitudinálních dat.....	57
6.4.1. Srovnání výsledků analýz asymetrie u dívek.....	57
6.4.2. Srovnání výsledků asymetrie u chlapců.....	60
<b>7. Diskuze .....</b>	<b>63</b>
<b>8. Závěr.....</b>	<b>70</b>
<b>9. Seznam použité literatury .....</b>	<b>72</b>

## Seznam zkratek

2D	dvojrozměrný
3D	trojrozměrný
FA	fluktuační asymetrie
DA	direkcionální asymetrie
IA	individuální asymetrie
CT	výpočetní tomografie, radiologická vyšetřovací trojrozměrná metoda
CBCT	zobrazovací rentgenologické vyšetření na principu klasické CT, na rozdíl od ní jsou rentgenové paprsky vysílány kuželovitě
SES	socioekonomický status
CPD – DCA	Coherent point drift – Dense correspondence analýza
TPS	metoda interpolace dat (Thin plate spline)



# 1. Úvod

Lidský obličej je součástí těla, která je důležitá při komunikaci s ostatními lidmi, zároveň se podílí na utváření celkového vzhledu člověka a tedy i jeho osobnosti (Bishara et al., 1994). Obličejová asymetrie je zcela běžná a uvádí se, že neexistuje jedinec, který by měl obličej dokonale symetrický (Primožic et al., 2012). Lidé se mírou bilaterální souměrnosti mezi sebou liší, přičemž bývá zapotřebí odlišit asymetrii normální od patologické, která se často vyskytuje např. u pacientů s jednostrannými orofaciálními rozštěpy (Stauber et al., 2008), či v důsledku traumat (Cohen, 1995). Hranice mezi patologickou asymetrií a normou není jednotně stanovena, neboť její hodnota závisí na mnoha okolnostech. Samotný pacient a lékař vnímají patologickou asymetrii odlišně, z pohledu pacienta, který má v celkovém hodnocení důležitou roli, je posuzována pouze subjektivně, zatímco lékař má k dispozici její metrické údaje (McAvinchey et al., 2014). Dalšími faktory ovlivňujícími hranici mezi normou a patologií je populační specifita, či její odlišná hodnota pro měkké a tvrdé tkáně (Huang et al., 2013). Studium obličejové asymetrie není samoúčelné, neboť poskytuje intervaly normy asymetrie u zdravých jedinců v konkrétní populaci využívané nejčastěji v oblastech medicíny, jako je ortodoncie, orální či plastická chirurgie (Choi, 2015).

V současné době se již v těchto odvětvích stala rutinní částí vyšetření a hodnocení pacienta 3D fotogrammetrie. Pomocí ní lze zachytit a kvantitativně měřit povrchovou geometrii snímaných objektů, zároveň je také užitečným nástrojem při analýze změn obličeje v průběhu jeho ontogenetického vývoje (Kau and Richmond, 2008; Taylor et al., 2014; Kesterke et al., 2016). Ve srovnání s dřívější používanými 2D metodami jsou 3D techniky rychlejší, spolehlivější, přesnější, ale také dražší (Lee et al., 2010; Park et al., 2012; Patel et al., 2015). Současně je metoda 3D skenování vhodná u mladších dětí, které při vyšetření metodami přímé antropometrie nemusí být schopné spolupracovat (Taylor et al., 2014). Pro kvantifikaci obličejové asymetrie je povrchová metoda validní a reprodukovatelná ve srovnání s dřívější používanou metodou landmarkovou (Verhoeven et al., 2016).

Cílem diplomové práce bylo hodnocení bilaterální asymetrie obličeje na základě 3D virtuálních povrchových modelů obličeje u dětí české populace ve věku od 3 do 15 let. Asymetrie byla analyzována na základě transverzálních dat a to ve vztahu nejen k věku, ale i k pohlavnímu dimorfismu či longitudinálnímu metodologickému přístupu.

## 2. Teoretický úvod

### 2.1. Asymetrie lidského obličeje

Obličej představuje u většiny lidí na první pohled bilaterálně souměrnou strukturu, která se skládá ze dvou stejných, zrcadlově převrácených polovin. Obličejová symetrie znázorňuje rovnováhu měkkých tkání v jejich velikosti, formě a rozmístění jednotlivých struktur na protilehlých stranách vzhledem k sagitální rovině. Aby bylo dosaženo úplné souměrnosti, musí obě poloviny růst a vyvíjet se rovnoměrně (Palmer, 1994; Moslerová et al., 2018). Podrobnějším studiem a měřením bychom však zjistili, že každý obličej vykazuje alespoň malou odlišnost mezi pravou a levou stranou. Jelikož nebyl dosud nalezen a popsán člověk, který by měl dokonale symetrický obličej, je ve vědecké komunitě uznáváno tvrzení, že takový člověk neexistuje (Primožic et al., 2012). Znamky asymetrie se objevují jak v raných vývojových stádiích a bezprostředně po narození, tak i následně po celý život jedince (Russo and Smith, 2011). Vznikají poškozením symetrie během vývoje (Levin and Palmer, 2007), zejména díky faktorům genetickým a environmentálním, či jejich kombinací (Graham and Özener, 2016; Moslerová et al., 2018). Mezi faktory environmentální patří například výživa, klima a toxické látky, k vlivům genetickým se řadí aneuploidie, heterozygotita či inbreeding. Měkké tkáně obličeje jsou dále velmi ovlivněny lebkou, vzniklá obličejová asymetrie tak může být důsledkem asymetrie kosti, kterou daná část měkké tkáně překrývá a snaží se jí tak vyrovnat.

Fluktuální asymetrie, která představuje náhodné odchylky od symetrie a bude podrobněji popsána v kap. 2.1.1., se v současnosti používá jako index vývojové nestability v populaci, jelikož odráží populační adaptaci a genomovou koadaptaci. Dále je obličejová asymetrie využívána při studiu sexuální selekce, kde se předpokládá, že z části je preference výběru partnera založena na symetrii jeho obličeje (Graham and Özener, 2016). Nicméně podle jiné studie obličejová souměrnost pozitivně koreluje s atraktivitou pouze u dětí, s přibývajícím věkem tato korelace mizí. U dívek je jejich přitažlivost ovlivněna asymetrií tváří a rtů, zatímco u chlapců se jedná o oblast mandibuly (Sforza et al., 2010). Ačkoliv je lehká asymetrie v obličeji u člověka běžná, závažnější formy mohou působit problémy funkční a estetické a v důsledku toho i problémy psychické (Cheong and Lo, 2011). Proto se v současné době rychle rozvíjí estetická medicína, umožňující lidem s těžkými formami asymetrií jejich problém zmírnit a lépe se tak začlenit do společnosti (Hunt et al., 2001).

V oblasti paleoantropologie je mnohdy důležitá dentální asymetrie. Po procesu fosilizace či po požáru bývá dentice na rozdíl od kostní tkáně rezistentní vůči deformaci. Pomocí asymetrie pak může paleoantropolog například určit, které dvě poloviny dentálního oblouku patří k sobě a tedy i danému jedinci (Graham and Özener, 2016).

Dle některých autorů se obličejová asymetrie nezvyšuje s věkem (Moslerová et al., 2018), nicméně podle Linden et al. (2018) u dospělých existuje pozitivní korelace mezi rostoucím věkem a asymetrií, přičemž její výraznější nárůst lze zaznamenat zejména ve střední a dolní třetině obličeje. Vliv na tento proces má především nesouměrná skeletální remodelace společně s poklesem měkkých tkání. Obecně se nejvíce asymetrie nachází v dolní třetině obličeje (Huang et al., 2013; Taylor et al., 2014; Nur et al., 2016), zároveň čím více jsou v této oblasti landmarky laterálně, tím vyšší stupeň asymetrie vykazují (Hwang et al., 2012). Tento trend je vysvětlován delší dobou růstu mandibuly ve srovnání smaxillou (Kwon et al., 2006). Hodnoty obličejové asymetrie se pohybují v rozmezí 0,6 – 4,6 mm (Hwang et al., 2012), mezi vědci však není jednotný názor, kdy lze asymetrii považovat za normu a kdy už se jedná o patologii. Dle některých autorů je nejčastěji používanou hranicí, od které už mluvíme o patologii asymetrie větší než 2 mm (Thiesen and Kim, 2016). U studie hodnotící přímo asymetrii obličeje na 3D virtuálních modelech byla průměrná hodnota asymetrie u zdravých jedinců  $0,8 \pm 0,24$  mm (Taylor et al., 2014). Asymetrii lze také hodnotit podle indexu asymetrii dle vzorce  $AI = \sqrt{(Ldx - Rdx)^2 + (Ldy - Rdy)^2 + (Ldz - Rdz)^2}$ , kde dx, dy a dz jsou vzdálenosti landmarků v mm od příslušné roviny (x, y, z), L označuje landmarky na levé polovině a R landmarky na pravé polovině obličeje, normální hodnoty jsou potom v rozmezí 0,8 – 2,8 (Huang et al., 2013).

### **2.1.1. Základní typy asymetrií**

Z hlediska hodnocení obličejové nesouměrnosti rozlišujeme u sledovaných jedinců tři typy asymetrií – asymetrii fluktuační (FA), direkcionalní (DA) a antisymetrii.

Fluktuační asymetrie je výsledkem drobných chyb při vývoji organismu vznikajících v důsledku faktorů vnějšího a vnitřního prostředí, díky čemuž jsou individuální u každého jedince. Jedinečnost této asymetrie je daná také odlišnou schopností rezistence vůči těmto faktorům (Van Valen, 1962). Má za následek malé odchylky (menší než 5% znaku, průměrně okolo 1%) mezi pravou a levou stranou u bilaterálních struktur (Palmer, 1994; Leamy and

Klingenberg, 2005). Ve studii Özenera z roku 2010 měli jedinci ze skupiny s nízkým SES (žijících v chudých životních podmínkách) zvýšené hodnoty obličejové FA oproti jedincům s vyšším SES. Zároveň zde poukazuje i na rozdíl mezi pohlavími – muži byli více asymetričtí než ženy, což vysvětluje tvrzením, že muži jsou citlivější k infekčním onemocněním kvůli pohlavním hormonům androgenům, které mohou buď ovlivňovat některé aspekty imunity, nebo nahradit určité geny zodpovědné za rezistenci vůči infekcím (Özener, 2010a). Trend vyšší FA u mužů potvrzují i další studie (Kirchengast, 2017).

Mnoho vědců tedy uznává souvislost a korelaci mezi flukтуаční asymetrií a stabilitou vývoje – čím je stabilita nižší, tím vyšší bude FA. Předpokladem tohoto tvrzení je nedědičný základ FA (Palmer, 1994). Nicméně novější výzkumy ukazují existenci několika specifických genů, jejichž epistatické interakce mohou FA ovlivnit (Leamy and Klingenberg, 2005), což může mít negativní dopad na původní využití flukтуаční asymetrie k měření vývojové stability v rámci populace.

Jedna z teorií se snaží vysvětlit rozdíl FA mezi muži a ženami. Jelikož mají ženy oproti mužům dva chromozomy X, přítomnost mutace na jednom z nich může být vyrovnaná existencí druhého chromozomu, zatímco u mužů, kteří mají pouze jeden X chromozom, nikoli. Díky tomu jsou ženy dle této teorie odolnější vůči genetickým a environmentálním stresovým podnětům a mohou se vyvíjet stabilněji, s čímž souvisí nižší míra FA (Graham and Özener, 2016).

O direkcionální asymetrii lze hovořit v případě, kdy je odchylka od symetrie větší na jedné straně oproti druhé (Van Valen, 1962) a je ve sledované populaci konzistentní. Jedná se v podstatě o tendenci k určité deviaci od symetrie v rámci studovaného souboru jedinců či populace (Krajíček et al., 2012). Na rozdíl od FA, která vzniká zejména v důsledku negativních environmentálních faktorů a schopností organismu se s tímto stresem vypořádat, je DA ovlivněna především diferenciálním mechanickým zatížením během růstu kostí (Özener, 2010b; Ibrová et al., 2017). Může se také jednat o adaptivní přírodní mechanismus (Palmer, 1994), jehož příkladem je asymetrie mandibuly, která odpovídá na asymetrii horní části obličeje kompenzačním mechanismem (Ibrová et al., 2017). Direkcionální asymetrie vzniká i v pozdějších fázích života, často u osob manuálně pracujících. Těžká, fyzicky náročná práce způsobuje biomechanické tlaky na lidské tělo či jeho konkrétní část a s přibývajícím věkem opakované fyzické námahy se DA zvyšuje (Özener, 2010b). K výpočtu

DA lze použít individuální asymetrii každého jedince, kdy průměr těchto asymetrií udává výslednou hodnotu direkcionální asymetrie ve sledované populaci (Krajíček et al., 2012).

Antisymetrie se vyskytuje v porovnání s DA méně často, nachází se také na jedné či druhé straně bilaterální struktury, na rozdíl od DA je však v tomto případě v rámci populace či vzorku jedinců variabilní, která strana převažuje (Van Valen, 1962). Průměrné hodnoty daného vzorku jsou pak rovné nebo blíží se nule. Proto také může být obtížné odlišit ji od FA, a to i přes velmi precizní měření, ačkoli původ těchto asymetrií se liší (Rowe et al., 1997). Jedním klasických příkladů antisymetrie je pravo a levorukost.

Výše uvedené tři typy asymetrií se mohou u jednoho znaku vyskytovat zároveň, nebo jako kombinace dvou z nich - nejčastěji jako DA a FA (Van Valen, 1962). Používání těchto termínů při hodnocení asymetrie lze využít pouze v rámci vzorku jedinců, nikoli pro samostatného člověka bez kontextu daného souboru (Palmer, 1994).

Asymetrii lze dále dělit dle etiologie na kongenitální, neboli vrozenou, vývojovou vznikající postupně během růstu, a získanou (např. po prodělaném traumatu nebo nemoci) (Cheong and Lo, 2011; Moslerová et al., 2018).

### **2.1.2. Důvody studia a možnosti využití**

Měření a hodnocení obličejové asymetrie lze využít v nejrůznějších vědeckých odvětvích, jako jsou forenzní antropologie, medicína a biomedicínská antropologie či demografie.

Ve forenzní antropologii se obličejová analýza používá pro biometrickou autentizaci nejrůznějších bezpečnostních systémů a k identifikaci popřípadě verifikaci pachatele či oběti (Muñoz et al., 2011). Pomocí speciálních počítačových programů lze provést faciální komparaci, kdy se nejprve k původnímu obrazu nebo kamerovému záznamu vytvoří templát, který je následně porovnáván s již existující databází. Mezi nejčastější metody detekce, lokalizace a rozpoznávání tváře patří eigenface (normalizovaná tvář), rozpoznávání obličejových obrysů, nebo metoda deformačních modelů. Komparace není nikdy stoprocentní a závisí zejména na daném nastavení systému a prahu citlivosti. Může tak dojít k falešnému přijetí či zamítnutí. Stejně tak je ovlivněna změnami obličeje v čase, ke kterým dochází především vlivem stárnutí, ale i kouření a poranění. Sledování změn obličejové asymetrie během života člověka je tak důležité pro činnost soudních znalců v procesech trestního řízení.

Nesouměrnost hraje důležitou roli v sexuální selekci. Symetrické obličejové protějšky jsou velmi přitažlivé z pohledu mužů i žen, nicméně nejedná se o jediný obličejový znak ovlivňující atraktivitu. Ženám se na mužích mimo jiné líbí, když mají určité rysy velké a tím pádem dominantní, například široké čelisti. Takové znaky totiž mohou v lidské evoluční historii poukazovat na rezistenci k parazitům. Naproti tomu u žen zase muži preferují drobnější znaky, jako jsou třeba malé oči. Obecně lze říci, že upřednostnění partnera se symetrickým obličejem je způsobeno existencí pozitivního genetického efektu na přežití potomků, či schopností symetrických jedinců vyšší rodičovské investice (Grammer and Thornhill, 1994). Ačkoli asymetrie obličejové malého rozsahu hodnocení celkové atraktivity jedince příliš neovlivní (Kowner, 1997; Kaipainen et al., 2015), lidé s výraznějšími nesouměrnostmi jsou pro své protějšky zpravidla méně přitažliví a zároveň může jejich nesymetrie poukazovat na zhoršenou schopnost vypořádat se se stresem během vývoje, tedy na snížené fitness (Van Dongen et al., 2009), či na kvalitu genů budoucího partnera (Švegar, 2016). Její evoluční význam tedy spočívá ve vývojové nestabilitě (Van Dongen et al., 2009). Míra fluktuantní asymetrie může zároveň vypovědět i o špatném psychickém stavu jedince (Shackelford and Larsen, 1997). Proto je pro osoby s obličejovými deformitami důležitá možnost jejich nápravy či alespoň částečného zmírnění. V současné době již moderní medicína umí prostřednictvím chirurgických zákroků lidem s dentofaciálními defekty pomoci a zvýšit tak jejich sebevědomí, kvalitu života a šanci najít si partnera (Hunt et al., 2001; Choi et al., 2010; Kurabe et al., 2016). Nejdůležitějším odvětvím jsou v tomto ohledu plastická chirurgie a ortodoncie, kterým možnost zhodnocení obličejové asymetrie slouží k porovnání stavu pacienta před a po operaci a k dalšímu léčebnému postupu (Lee et al., 2010; Choi, 2015).

Zatímco se k odhadu věku v dětství a dospělosti využívají především skeletální a dentální změny, k odhadu v době smrti slouží mimo jiné i měkké tkáně, například výraznost a počet vrásek v obličejí. Pokud bychom znali podobný motiv vývoje asymetrie obličejové v průběhu života v dané populaci, mohli bychom odhadnout věk či pravděpodobný věk dožití pouze z fotografií obličejů (Dykiert et al., 2012).

### **2.1.3. Způsoby měření a hodnocení**

Sledovaný předmět lze vizualizovat pomocí 2D nebo 3D zobrazovacích technik. V současné době je trendem upřednostnit 3D metody kvůli jejich vyšší přesnosti,

spolehlivosti a podrobnějším informacím o dané struktuře, čehož lze následně využít například v medicíně pro diagnostiku a léčbu. 2D techniky může navíc negativně ovlivnit změna osvětlení či pozice.

Obličej je trojrozměrný objekt a měl by tedy být hodnocen ve 3D prostoru kvůli zachování informace (Ras et al., 1994; Akhil et al., 2015). Nicméně 2D metody, mezi které patří například fotografie a rentgenové snímky, bývají zpravidla méně časově a finančně náročné, a v některých případech poskytují dostatečné množství údajů (Lee et al., 2010). Z trojrozměrných metod je nyní zejména ortodontisty často využíváno CBCT (cone-beam computed tomography), které v zubním lékařství nahradilo spirální CT. Poskytuje kvalitní zobrazení, díky němuž je možné stanovit přesnou diagnózu, jeho nevýhodou je však vystavení lidského organismu vysokému radiačnímu záření. Mezi další 3D zobrazovací metody patří například 3D ultrasonografie, 3D faciální morfometrie, stereolitografie či laserové skenování (Akhil et al., 2015), které je metodou neinvazivní, rychlou a přesnou (Djordjevic et al., 2011) a je využito v praktické části této diplomové práce.

K hodnocení symetrie obličeje se používají landmarky – body, které jsou typicky rozmístěné na anatomicky významných místech (Dupej et al., 2013), jako jsou například koutky úst, očí, či špička nosu. Tyto body musí být co nejpřesněji definované, aby se snížilo riziko chybovosti při jejich umísťování. Měří se pak jejich vzdálenost od sagitální roviny, pokud se jedná o párové body, porovnají se jejich vzdálenosti na pravé a levé straně obličeje, pokud jde o body nepárové, hodnotí se jejich pozice, respektive odchylka od roviny symetrie (Hajeer et al., 2004). 3D metody většinou zahrnují automatickou analýzu pro vyhodnocení asymetrie (Di Angelo and Di Stefano, 2013). Nicméně najít a definovat sagitální rovinu, tedy rovinu symetrie obličeje, je obtížné a ve vědecké komunitě dosud není jeden univerzální postup, který by všichni používali. Mnoho autorů tak má různý postup pro její nalezení, někteří z nich dokonce doporučují využít několik odlišných způsobů a výsledky poté porovnat (Yoon et al., 2014).

V této diplomové práci je obličejová asymetrie hodnocena metodami geometrické morfometrie na párových i nepárových znacích. Umožňuje analyzovat odlišnosti ve tvaru a velikosti na biologických objektech (Bookstein, 1997; Krajíček et al., 2012) tím, že srovnává původní obraz s jeho zrcadlově převrácenou kopií. Lze takto měřit asymetrii direkcionalní, fluktuační i individuální (Klingenberg, 2015). Poslední zmíněnou můžeme definovat jako rozdílnost v konkrétních znacích oproti jejich párovému (zrcadlovému) protějšku. DA potom

představuje průměr těchto odlišností v rámci celého studovaného vzorku, zatímco FA vyjadřuje rozdíl mezi asymetrií individuální a direkcionalní a reprezentuje tak náhodnou asymetrii jedince (Krajíček et al., 2012; Dupej et al., 2013). Výpočet lze provést dle následujícího vzorce:  $IA_i = DA + FA_i + \varepsilon_i$  (Bigoni et al., 2013).

Všechny výpočty asymetrií jsou prováděny automatickým algoritmem v programu Morphome3cs. Před samotným hodnocením asymetrie je provedena Dense correspondence analýza (DCA). Jedná se o nerigidní algoritmus, který poskytuje tím lepší výsledky, čím více landmarků je použito. Automaticky je vybrán „reference mesh“ - referenční jedinec tvořený (stejně jako všichni ostatní) sítí trojúhelníků = mesh, podle kterého budou následně zarovnání ostatní jedinci označovaní jako „moving meshes“ (pohyblivé meshe). Prvním krokem je Prokrustovská superimpozice, což je metoda rigidní registrace. Následuje TPS (thin-plate splines) interpolace, která zarovná pohyblivé meshe dle referenčního. Nakonec proběhne konstrukce zcela nového meshe – „correspondence mesh“, který má stejnou topologii jako reference mesh, ale tvar odpovídá moving meshes (Krajíček et al., 2012).

U hodnocení asymetrie obličeje v estetické medicíně se obvykle vedle výsledků měření bere v potaz i subjektivní pocit pacienta, který bývá často pozitivnější, než objektivní hodnocení lékaře (McAvinchey et al., 2014).

## **2.2. Asymetrie obličeje dítěte**

### **2.2.1. Růst obličeje a jeho vývoj v dětství**

Stejně jako všechny části lidského těla i u obličeje dochází postnatálně k progresivnímu zvětšování a s přibývajícím věkem se mění jeho proporce (Enlow, 1966). Během růstu v dětství však neprobíhají výrazné změny ve velikosti obličejové asymetrie (Primozic et al., 2012). Z hlediska intenzity růstu je u člověka nejintenzivnější období kojenecké, následuje puberta a období předškolní. Nicméně ani zvýšená rychlost růstu v těchto periodách neovlivňuje úhlové či lineární parametry obličejové symetrie a u zdravých dětí je růst obličeje symetrický (Djordjevic et al., 2013).

Dalo by se předpokládat, že během puberty bude zejména u dívek docházet k nárůstu měkkých tkání obličeje, především díky kolísání hladiny estrogenu, který je zodpovědný za hormonálně řízený nárůst tukové tkáně. Avšak současné studie tuto teorii nepotvrdily. Dle McKinnon et al. (2018) jsou změny měkké tkáně (s výjimkou rtů) s věkem minimální, a to i



navzdory zvýšenému růstu kraniálních obličejových struktur. Výsledky jiné studie uvádí, že růst měkkých tkání obličeje má stejné hodnoty bez ohledu na to, zda u jedince probíhá či neprobíhá pubertální růstový spurt (a zda se nachází v bodě s nejvyšším ročním přírůstkem = PHV = peak height velocity) (Primožic et al., 2017), což je v souladu s předchozím tvrzením.

V rámci symetrie nacházíme nejvíce odchylek ve střední a dolní třetině obličeje, a to jak u dětí (Primožic et al., 2012), tak i v dospělosti (Ferrario et al., 1995; Taylor et al., 2014). Dokládá to i výzkum z roku 2013, kdy byla porovnávána symetrie obličeje u 15letých monozygotních i dizygotních dvojčat, a nejmenší shoda byla v obou případech nalezena ve spodní třetině obličeje (Djordjevic et al., 2013). Z hlediska proměny obličeje během vývoje byly u dětí v prepubertě největší odlišnosti pozorovány u výšky střední třetiny obličeje, zatímco u starších dětí v pubertě v dolní třetině především kvůli nápadné protruzi brady. S přibývajícím věkem dochází ke zvětšování vzdálenosti očí, šířky nosu a úst, naopak obličejová konvexita se postupně snižuje (Primožic et al., 2017). Superiorní část obličeje roste rychleji v raném dětství, inferiorní oblast vykazuje spíše stabilní lineární růstový trend jak u dívek, tak u chlapců (McKinnon et al., 2018).

Asymetrie mandibuly je nezávislá na věku a pohlaví, a ačkoli je její četnost v populaci vysoká, nedochází k preferenci dominance jedné či druhé strany (Ramirez-Yañez et al., 2011). Nicméně dle Šlaj et al. (2003) byla u dětí ve věku od 8 do 14 let mandibula větší na pravé straně. Zdraví jedinci tak mohou mít statisticky signifikantní asymetrii dolní čelisti, nicméně málokdy je tato asymetrie signifikantní i klinicky. Jedním z důvodů této nesouměrnosti během dospívání může být fakt, že se kondylární délka a délka ramene mandibuly chovají během růstu odlišně, neboť jsou pod jiným regulačním růstovým mechanismem (Liukkonen et al., 2005). Za mírnou asymetrii v této oblasti lze považovat odchylky od 3 do 5 mm, zatímco hodnoty vyšší než 5 mm představují těžké formy asymetrií (Ramirez-Yañez et al., 2011). Stejně tak i asymetrie tvrdého patra je v populaci velmi častá a nachází se v každém věku včetně fetálního období, z čehož je patrné, že nemůže být ovlivněna mastikací. Dle studie z roku 2008 v průměru lehce dominovala asymetrie tvrdého patra na levé straně (Moreira et al., 2008).

### **2.2.2. Faktory ovlivňující nesouměrnost**

Symetrie obličeje je narušována faktory vnějšího i vnitřního prostředí. Již období prenatalní je důležité v souvislosti se vznikem a rozvojem obličejových nesouměrností.

V tomto ohledu hraje velkou roli konzumace alkoholu budoucí matkou během jejího těhotenství. Novorozenci s fetálním alkoholovým syndromem pak mívají častěji direkcionalní asymetrie obličeje oproti dětem zdravým (Klingenberg et al. 2010). Dalšími faktory podílejícími se na vzniku asymetrie obličeje u novorozeného jsou obezita, těhotenská cukrovka, hypertenze či kouření. Celkově se tedy jedná o tzv. maternální efekt, zahrnující kromě již zmíněného i kvalitu stravy a lékařské péče, prodělaná onemocnění, věk matky (Singh and Rosen, 2001), nebo její psychický stav v průběhu těhotenství (Žadzińska et al., 2013). Kromě životního stylu rodičů je důležitá i genetika. Ta bývá nejčastěji spojována s rozštěpovými vadami (Stauber et al., 2008). Pokud se rozštěp rtu či patra v rodině objevil již v minulosti, je velká pravděpodobnost jeho opakovaného výskytu. Mimo to hraje roli i vyšší věk otce (Materna-Kiryluk et al., 2009), či inbreeding (Obeidat et al., 2010).

Dále může být obličejová asymetrie zapříčiněna infekcí, chirurgickým zákrokem, zlomeninou nebo traumatem během růstové periody. Mezi nemoci spojené s nesouměrností obličeje patří například akutní zánět středního ucha, infekce virem *Varicella zoster* a některé typy rakoviny (pleomorfní adenom, osteosarkom horní a dolní čelisti, juvenilní hemangiom) (Cohen, 1995). Asymetrie tvaru hlavy a potažmo obličeje může být důsledkem plagiocefalie. Jedná se o nesouměrné zakřivení lebky, které vzniká v důsledku vnějších sil působících na danou část hlavy (Bruneteau and Mulliken, 1992; Pogliani et al., 2011). Podle způsobu vzniku se plagiocefalie dělí na synostotickou, která je výsledkem synostózy švu, kompenzační, vyskytující se v případě, kdy došlo k předčasné fúzi kontralaterálního švu, a deformační, vznikající sekundárně jako důsledek vnějších tlakových sil během prenatálního, perinatálního či postnatálního období (Bruneteau and Mulliken, 1992). Obecně se plagiocefalie vyskytuje častěji u chlapců a kraniální zploštění se objevuje převážně na pravé straně (Peitsch et al., 2002). Deformační plagiocefalii lze zabránit prevencí a její včasné rozpoznání společně se zahájením léčby má potenciál nejen k dobrým výsledkům, ale také k nižším nákladům na léčbu (Ditthakasem and Kolar, 2017).

Postnatálně je ovlivňujícím faktorem zejména socioekonomický status (SES). Jak již název napovídá, jedná se o soubor sociálních a ekonomických podmínek (kvalitní a dostatečná výživa, poskytnutá lékařská péče, kouření a konzumace alkoholu rodičů, apod.), které má dítě k dispozici. Pokud je snížený, velmi často bývá asociován s vývojovými poruchami a z hlediska obličejové souměrnosti pak zejména s flukтуаční asymetrií, přičemž tato souvislost je silnější u mužů. Nízký či snížený SES během dospělosti již tento efekt nemá (Hope et al.

2013). Celkově tak lze říci, že obličejová souměrnost dobře reflektuje rušivé vlivy během růstu a vývoje, zatímco symetrie těla, senzitivní k jiným vlivům, nikoliv.

Roli v obličejové asymetrii hraje také mastikace. Většina lidí upřednostňuje unilaterální způsob žvýkání, a to nejčastěji na pravé straně (Nissan et al., 2004; Diernberger et al., 2008). Bylo prokázáno, že preference jedné strany při žvýkání odpovídá ostatním hemisférickým lateralitám (jako je např. pravo/levorukost), a je tedy pod vlivem regulace centrálního systému (Nissan et al., 2004; Serel et al., 2017). Obvyklý způsob mastikace pak může v průběhu života ovlivnit či dokonce změnit například bolest žvýkacích svalů nebo čelistního kloubu, asymetrická ztráta zubů v premolární případně molární oblasti či protetické zubní náhrady (Diernberger et al. 2008). Na obličejovou asymetrii v důsledku mastikace může mít vliv také typ stravy. Pokud je po delší období přijímaná strava převážně tvrdá, dojde ke zvýšení nároků na žvýkací svaly, což může mít následně dopad na odlišnou trajektorii růstu (Menegaz et al., 2010).

### **2.2.3. Obličejová asymetrie ve vztahu k pohlavnímu dimorfismu**

Obličejové znaky pohlavního dimorfismu u dospělých lidí jsou ve většině případů zřejmé a na první pohled patrné. U dětí, a to zejména u těch nejmladších, tomu tak ovšem není. Vznik těchto odlišností je dlouhý a složitý proces ovlivněný multifaktoriálně, tedy kombinací dědičných faktorů, hormonálních vlivů a požadavku na vznik funkčních vlastností obličeje, působících během celé ontogeneze. Konečný tvar dospělého obličeje dívek a chlapců se sice vyskytuje až po pubertě, nicméně vzniká v důsledku četných změn, ke kterým dochází také v dřívějších fázích života jedince (Kesterke et al., 2016). Vývoj je také spojen s ontogenetickou alometrií během pubertálního období (Koudelová et al., 2015). Měkké tkáně obličeje a hlavy tak v dospělosti vykazují silnou evidenci znaků sexuálního dimorfismu a velikost rozdílu tohoto dimorfismu roste s přibývajícím věkem. Nicméně drobné odchylky tvaru obličeje mezi chlapci a dívkami byly zaznamenány ve všech věkových kategoriích měřených od 3 do 18 let. Nevyskytují se tedy nárazově po pubertě, ale vznikají postupně v různých periodách ontogeneze. Již u nejmenších (kategorie 3 – 5 let) měli chlapci v porovnání s dívkami signifikantně větší šířku a délku *cranium*, faciální šířku, hloubku i výšku, šířku nosu a délku *alae nasi*, délku *philtrum* a *palpebrae*, a šířku vnějších koutků oka. Kromě pubertálního období se ve všech ostatních věkových kategoriích u chlapců objevil stejný motiv – relativně větší šířka vzhledem k výšce u střední části obličeje (Kesterke et al.,

2016). V jiné studii (Koudelová et al., 2015) naproti tomu nebyly nalezeny signifikantní rozdíly mezi chlapci a dívkami ve věku 12 – 15 let, pouze u kategorie 14 – 15 let existovaly drobné sexuálně dimorfní odlišnosti v morfologii obličeje, a to v rámci formy, nikoli tvaru. Zatímco chlapci měli obecně prominentnější nadočnicové oblouky, nos a bradu, hlouběji posazené oči a plošší oblast tváří, dívky spodní ret. Průměrně také chlapci vykazovali delší dolní třetinu obličeje, dívky naopak horní třetinu. Stejný trend pohlavně dimorfních znaků pak přetrvává i v dospělosti. Obecně tedy u mužů převažuje větší obličej, nízké a úzké čelo a zároveň široká dolní třetina obličeje s výrazně protruzivní bradou. Oči mají muži většinou posazené hluboko a blízko u sebe, nos je v porovnání se ženami větší a více konvexní. Obsah tukové tkáně v oblasti tváří je u mužů nižší. Pro ženy je naopak typické vysoké, vyklenuté a široké čelo v kombinaci s úzkou a málo prominující dolní třetinou obličeje (Velemínská et al., 2012). Dívky také dosahují dospělé velikosti obličeje dříve než chlapci (Kesterke et al., 2016).

Dle některých autorů při sledování asymetrie obličeje u dětí nebyly nalezeny rozdíly mezi dívkami a chlapci (Primožic et al., 2012). Naproti tomu jiná studie hodnotící děti ve věku 15,3 let ( $\pm 0,1$ ) uvádí signifikantně vyšší nesouměrnost celého obličeje u chlapců v porovnání s dívkami, nicméně při hodnocení každé třetiny obličeje jednotlivě rozdíly nebyly markantní. Z hlediska porovnání úhlových a lineárních parametrů obličeje odlišnosti mezi dívkami a chlapci nebyly nalezeny (Djordjevic et al., 2014). Studie z roku 2003 zabývající se asymetriemi dolní třetiny obličeje u dětí se smíšenou denticí (v časném období 8 – 12 let a pozdním období 10 – 14 let) zjistila tendenci k levostranné dominanci maxilly a pravostranné dominanci mandibuly u všech dětí bez rozdílu pohlaví. Celkově nebyly nalazeny rozdíly pohlavního dimorfismu, pouze většina šířkových parametrů byla větší u chlapců, zatímco parametry hloubkové dominovaly u dívek (Šlaj et al., 2003). Kau and Richmond (2008) ve své longitudinální studii měřili děti od 12 do 14 let a zjistili, že celkové povrchové změny obličeje jsou větší u chlapců v porovnání s dívkami. Zároveň také našli rozdíl v načasování, kdy k těmto změnám dochází – u chlapců v pozdějším věku. K protruzivním změnám pak došlo v oblasti nosu, obočí a úst, zatímco uložení očí se s věkem prohlubovalo. Konvexitu profilu obličeje se s přibývajícími lety zvyšovala.

Podle Matthews et al. (2016) jsou rozdíly pohlavního dimorfismu přítomny dokonce již u dětí starých pouze 1 rok. U chlapců našli větší klenbu a velikost celého obličeje v porovnání s dívkami, zatímco dívky měly čelo více v protruzi, menší a užší nos a více tukové tkáně v oblasti tváří oproti stejně starým chlapcům. Z jejich výsledků je tak patrné, že odlišné pohlavně dimorfní znaky obličeje nejsou ovlivněny pouze hormonálně během období puberty,

ale působí na ně patrně i efekt hormonů matky v průběhu těhotenství či dědičnost charakteristických rysů. Výsledky předchozí studie potvrzuje i Bulygina et al. (2006), podle které je pohlavní dimorfismus velikosti neurokrania stanoven již prenatálně a interindividuální rozdíl obličejové formy během prvních let života. Dimorfismus velikosti obličeje se pak vyvíjí až v postnatálním období a neustále se zvyšuje až do ukončení vývoje. Naproti tomu pohlavní dimorfismus tvaru obličeje se s přibývajícím věkem mění. Zatímco chlapci v kojeneckém věku mají oproti dívkám relativně větší a zaoblenější os frontale, menší obličej a bazi lební ve větší flexi, u dospělých se tento trend zcela otočí. Muži tedy mívají větší a více prognátní obličej, méně flektovanou bazi a relativně menší a plošší os frontale. U dívek dochází k poklesu růstového tempa obličeje ve 13 letech a k úplnému zastavení okolo 15 let. Růstové trajektorie dívek a chlapců nebývají paralelní a k jejich odlišení dochází přibližně ve 12 letech, přičemž tato divergence se týká především změny tvaru obličeje. Těsně před pubertou pak mají chlapci větší celkovou velikost obličeje ve srovnání s dívkami, ty jsou však již v tomto období v pokročilejším vývojovém stadiu (Bulygina et al., 2006).

#### **2.2.4. Obličejová asymetrie ve vztahu k lateralizaci**

S obličejovou asymetrií je též spjat nesymetrický vývoj mozkových hemisfér (Keles et al., 1997), ke kterému dochází již v průběhu prvního roku života (Aljuhany et al., 2010). V časném i pozdějším vývoji lateralizace mozku mohou mít roli pohlavní hormony, které tudíž mohou ovlivnit i vznik obličejové nesouměrnosti (Keles et al., 1997). Například prenatální testosteron má prokazatelný vliv na lateralizaci u člověka. Jeho efekt, způsobující odlišnou stranovou preferenci v populaci, je daný odlišnou senzitivitou konkrétních oblastí mozku (např. kalózní těleso, mozkové hemisféry) k androgenům. U zdravých jedinců zároveň existuje závislost mezi intenzitou stranové dominance (pravo/levorukosti) a mírou expozice prenatálnímu testosteronu (Lust et al., 2011).

U většiny lidí tedy zpravidla jedna z hemisfér dominuje, s čímž souvisí i stranová preference ve využívání pravé či levé horní končetiny, například pro uchopování a manipulaci s předměty. U pravorukých v naprosté většině případů dominuje levá hemisféra a vice versa (Arteaga and Poblano 2008). Naopak dle Erkec and Yetkin (2014) převažuje levá mozková hemisféra jak u praváků, tak u leváků. V západních zemích se počet praváků v populaci pohybuje mezi 85 – 90%, leváků je tedy přibližně 10 – 15%. Tato forma lateralizace se vyvíjí již prenatálně, manifestuje se během raného dětství a následně je v průběhu života

konzistentní. Olivňují ji zřejmě mimo jiné i faktory genetické, konkrétně se uvažuje o efektu přibližně 40 spolupůsobících genů. Dominance mozkové hemisféry ovlivňuje mimo jiné i pohyby očí – pravorucí s převažující levou hemisférou vykazují častější pohyby očí na pravé straně a naopak (Arteaga and Poblano 2008). Extrémní formy stranových preferencí mohou ovlivnit kraniofaciální DA, přičemž u praváků je tento efekt markantnější než u leváků (Özener et al., 2011). Zároveň praváci bývají silněji lateralizovaní než leváci (Erkec and Yetkin, 2014). Dle studie z roku 1997 mají praváci signifikantně větší levou polovinu obličeje (u 96,6% jedinců) a leváci naopak pravou stranu (68,2% zúčastněných) (Keles et al., 1997). Novější studie provedená na 200 zdravých dětech ve věku od 13 do 15 let naopak naměřila signifikantní korelaci mezi dominantní pravou polovinou obličeje a pravorukostí (Eligar, 2011).

Smith (2000) ve své studii ukazuje souvislost asymetrie obličeje a asymetrie mozkových hemisfér, která závisí na neurologické kontrole obou polovin obličeje hemisférami. Kontrola je kontralaterální – levá hemisféra dohlíží na pravou stranu obličeje a naopak pravá hemisféra na levou polovinu. Z jeho výsledků je patrné, že průměrně u žen dominuje pravá strana obličeje a u mužů naopak levá. Znamenalo by to tedy dominanci levé hemisféry u žen a pravé u mužů, což je v souladu s dřívějšími studiemi, podle kterých mají ženy obecně lepší verbální schopnosti (odpovídající dominanci levé mozkové hemisféry) a muži jsou naproti tomu zvýhodněni v prostorovém vnímání, mechanických a matematických dovednostech (což odpovídá dominující pravé hemisféře) (Burstein et al., 1980). Výsledky Smithovy studie s převažujícím trendem pravostranné dominance obličeje u žen a levostranné u mužů potvrzují i další autoři (Hardie et al., 2005), nicméně liší se v hodnotách celkového rozdílu mezi ženami a muži. Stejný autor však ve své o 2 roky starší studii našel korelaci pravo či levostranné dominance obličeje nikoliv s pohlavím, ale s typem zaměření vzdělání (Smith, 1998). Porovnával členy fakulty humanitních studií, u kterých předpokládal profesionální verbální projev související s dominantní levou hemisférou, a členy z fakulty matematiky a fyziky s výborným prostorovým vnímáním, a tedy převládající pravou mozkovou hemisférou. Opět se jeho předpoklady potvrdily, neboť humanisté měli dominantní pravou polovinu obličeje, zatímco matematici a fyzici levou. Zůstává tedy otázka, zda jsou výsledky obou těchto studií relevantní, nebo jsou pouze ovlivněny a zkresleny malým počtem měřených jedinců, a zda by se tedy tyto závěry potvrdily i při rozšíření souboru. Souvislost lateralizace mozkových hemisfér a obličejové asymetrie dosud není zcela objasněna, výše zmíněné studie

uvádějí tuto souvislost v odlišných kontextech. Byla by tedy zajímavým předmětem dalšího výzkumu.

Ukazuje se, že v rozpoznávání a sledování lidského obličeje z pohledu sledujícího má hlavní úlohu pravá mozková hemisféra (Prete and Tommasi, 2018). Obecně jsou lidé citliví na odchylky od bilaterální symetrie a upřednostňují znaky symetrické. Dle studie z roku 2009 však lidský vizuální systém dokáže adaptovat své vnímání tak, aby odfiltroval či alespoň snížil vnímání těch asymetrií, které mají stejný a konzistentní směr (tzn. DA) (Rhodes et al., 2009).

### **2.2.5. Longitudinální a transverzální studie**

V posledních letech vzrostl význam longitudinálních studií (Hedeker and Gibbons, 2006; Markovitz et al., 2012). Jedná se o výzkum založený na opakovaných měřeních stejných jedinců po určitou dobu v určitých časových intervalech, trvajících většinou i několik let. Jejich hlavní výhodou je schopnost vědců z výsledků odhalit vývoj nebo změnu sledovaných znaků v čase, jak u celé skupiny, tak u jednotlivce, a rozlišit tak časovou proměnu studovaného předmětu. Na rozdíl od transverzální studie lze tedy vyvodit vztah mezi příčinou a důsledkem (Hedeker and Gibbons, 2006). Analýza longitudinálních dat může zahrnovat komplexní statistické metody z opakovaných měření, jako je například analýza odchylky, analýza časových řad, růstové modely, apod. (Grimm et al., 2017). Nicméně longitudinální studie mají i svá negativa. Za nejzávažnější jsou považována chybějící data, jelikož ne všichni jedinci zůstávají ve studii po celou dobu jejího trvání. Důvody jejich vyřazení mohou být různého charakteru, především v závislosti na léčbě, u některých může například v průběhu léčby dojít k relapsu onemocnění (Hedeker and Gibbons, 2006). Mezi další nevýhody se řadí například dlouhá doba trvání studie a celková vyšší nákladnost oproti studiím transverzálním. Dalším negativem může být fakt, kdy se např. rizikové faktory onemocnění v určitém časovém období mění více v prostoru (např. mezi obcemi) než v čase. V takovém případě průřezové studie poskytují informace, které jsou reprezentativní i ve velkých geografických regionech (Markovitz et al., 2012).

Společným rysem obou typů studií je sběr dat výzkumníky bez manipulace vnějšího prostředí. Při transverzální studii jsou data sbírána v jednom okamžiku jako celek pro studium populace a závislostí mezi sledovanými proměnnými případně může být sledováno více

populací či skupin populace zároveň. Dovoluje tak vědcům hodnotit například věk, pohlaví, socioekonomický stav ve vztahu k měřené veličině. Výhodou tohoto typu studie je tak poměrně rychlé pořízení dat, jelikož je provedena pouze jednou a nikoliv opakovaně. Zároveň také bývá méně finančně nákladná. Zásadní rozdíl oproti studii longitudinální je ten, že vědci v tomto případě nemohou vyvodit vztah mezi příčinou a důsledkem. Také nelze vzít v potaz, co se se sledovaným subjektem stalo před nebo po měření (Rothman and Greenland, 1998; Morgenstern and Thomas, 1993).



### 3. Cíle práce a hypotézy

Diplomová práce se zabývá sledováním obličejové asymetrie u dětí ve věku od 3 do 15 let na souboru transverzálních dat. Byly stanoveny následující cíle:

1. Zhodnotit asymetrii u dětí v jednotlivých věkových kategoriích (3 – 5 let, 6 – 8 let, 9 – 11 let, 12 – 15let).
2. Sledovat vývojové trendy asymetrie zvlášť u dívek a u chlapců.
3. Porovnat rozdíly asymetrií mezi dívkami a chlapci v rámci dané kategorie.
4. Porovnat výsledky transverzálních dat s výsledky z dat longitudinálních.

V návaznosti na cíle práce a dostupnou literaturu byly formulovány tyto hypotézy:

- I. Pravá polovina obličeje je dominantní u všech dětí bez rozdílu pohlaví.
- II. Prepubertální děti mají nejvíce asymetrií ve střední třetině obličeje, zatímco starší děti ve spodní třetině.
- III. Chlapci ve věku 12 – 15 let mají obličejovou asymetrii větší než dívky stejného věku.
- IV. Výsledky asymetrie obličeje získané na základě longitudinálních dat se neshodují s výsledky z dat transverzálních; longitudinální data lépe zaznamenávají vývojové trendy asymetrie.

## 4. Materiál

Na Katedře antropologie a genetiky člověka je v rámci Laboratoře 3D zobrazovacích a analytických metod vytvořena databáze 3D faciálních skenů dětí ve věku od 3 do 15let, která zahrnuje data transversální i longitudinální, přičemž v této diplomové práci byla pro hodnocení a prezentaci vlastních výsledků použita pouze data transversální. V poslední podkapitole praktické části práce byly tyto výsledky srovnány s výsledky direkcionalní asymetrie u dat longitudinálních, které zpracovala Mgr. Eva Hoffmannová. Sběr dat zajišťují několikrát ročně studenti oboru Antropologie a genetiky člověka již od roku 2009 do současnosti, celý soubor je tak neustále rozšiřován. Skenovány jsou děti v Praze a Středočeském kraji a to v následujících školách a školkách:

MŠ Anny Drabíkové, MŠ Hrabákova, MŠ Jažlovická, MŠ Kolovraty, MŠ Radotín, MŠ Na Smetance, Fakultní MŠ při Pedagogické fakultě Univerzity Karlovy, ZŠ Jungmannovy sady Mělník, ZŠ Pošepného v Praze, Gymnázium Kladno, Gymnázium Nad Štolou.

Skeny byly vytvořeny pouze u dětí, které doložily informovaný souhlas podepsaný zákonným zástupcem. V diplomové práci byla zpracována data jedinců výhradně české národnosti bez zjevných patologií a traumat v obličeji. Jednalo se o 3D virtuální modely obličejů 442 dívek a 396 chlapců, celkově tedy o 838 probandů transversální databáze. Jednotlivé počty dětí dané věkové kategorie jsou uvedeny v tabulce níže (*Tab.1*). Data longitudinální pak zahrnovala celkem 405 3D snímků, přičemž děti byly oproti transversálním datům skenovány až od 7 let (*Tab. 2*).

Věk	3 roky	4 roky	5 let	6 let	7 let	8 let	9 let	10 let	11 let	12 let	13 let	14 let	15 let	Celkem
Dívky	23	46	47	60	31	26	27	26	27	32	31	29	37	442
Chlapci	27	41	30	43	27	30	25	29	26	38	31	24	25	396

*Tab. 1: Počet 3D virtuálních modelů transversální databáze v daných věkových kategoriích.*

Věk	7 let	8 let	9 let	10 let	11 let	12 let	13 let	14 let	15 let	Celkem
Dívky	23	21	21	22	21	44	24	22	23	221
Chlapci	17	16	16	15	16	37	21	23	23	184

*Tab. 2: Počet 3D virtuálních modelů longitudinální databáze v daných věkových kategoriích.*

## 5. Metodologie

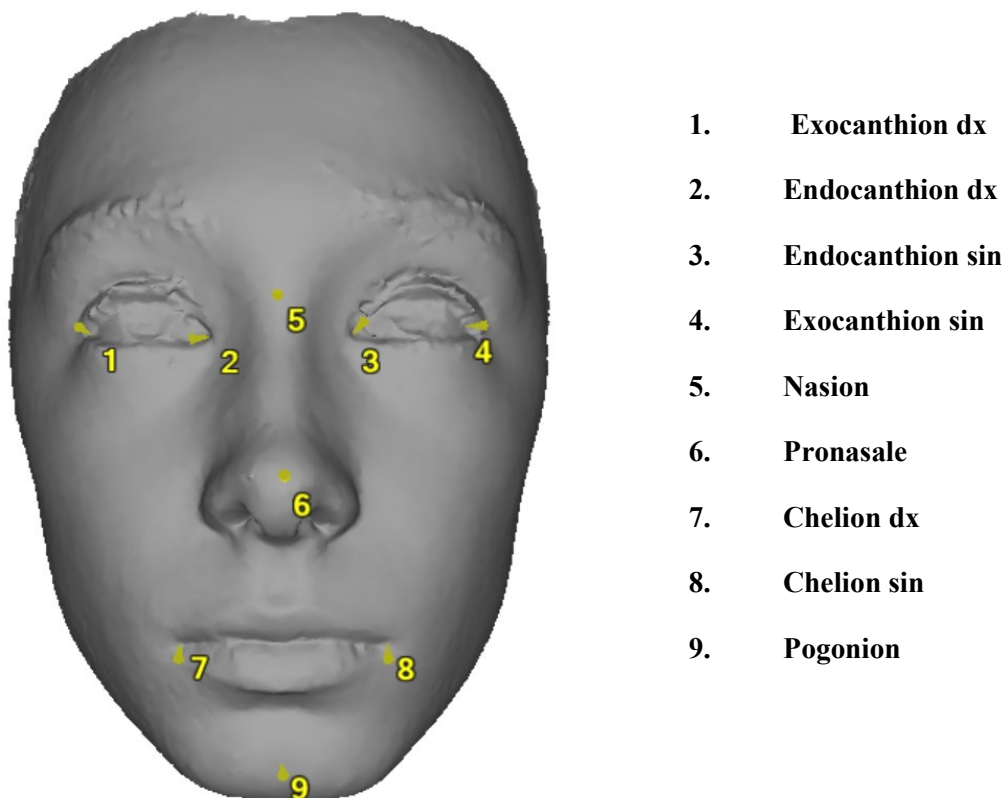
### 5.1. Pořízení a úprava dat

Ke skenování ve školách a školkách byl využit vícekamerový optický skener Vectra3D (Canfield Scientific, Inc.). Během snímání je tak pořízen každou kamerou jeden snímek, z nichž následně software Mirror Photo Tools (Canfield Scientific, Inc.) složí výsledný 3D virtuální model, přičemž textura obličeje zůstává zachována. Děti byly posazeny před skener a vyzvány k zaujetí neutrálního výrazu bez úsměvu, především pak k zavření úst. V případech, kdy vlasy zasahovaly do obličeje, byla použita čelenka.

Poté byly 3D modely vyexportovány a upraveny v programu Rapidform XOS 2006 (Inus Technology, Inc.). Tato úprava spočívala v odstranění oblastí krku, uší a zbylých vlasů a následném zaplnění či opravení povrchových chyb (viz obr. 1). Jelikož jsou modely tvořeny polygonovou sítí s různým počtem trojúhelníků, byla provedena decimace na 26 000 trojúhelníků, aby došlo ke sjednocení velikosti dat. Na takto připravené obličeje se následně nanoslo 9 landmarků (viz obr. 2). Průměrná individuální chyba nanášení landmarků byla 0,31 mm, interindividuální 0,58 mm (von Cramon-Taubadel et al., 2007).



**Obr. 1: Faciální sken před (vlevo) a po (vpravo) úpravě v programu Rapidform XOS 2006.**



Obr. 2: Lokalizace 9 landmarků použitých pro hodnocení dat.

Tab. 3: Definice použitých landmarků (převzato podle Ferrario et al., 2003).

Název landmarku	Definice
<b><i>Exocanthion(dx/sin)</i></b>	Bod na vnějším koutku oční štěrbiny v místě styku horního a dolního očního víčka (pravý/levý).
<b><i>Endocanthion(dx/sin)</i></b>	Bod na vnitřním koutku oční štěrbiny v místě styku horního a dolního očního víčka (pravý/levý).
<b><i>Nasion</i></b>	Bod umístěný nejvíce anteriorně v mediální rovině mezi čelem a nosem.
<b><i>Pronasale</i></b>	Bod umístěný nejvíce anteriorně na hrotu měkké tkáně nosu.
<b><i>Chelion(dx/sin)</i></b>	Bod na vnějším koutku úst v místě styku horního a dolního rtu (pravý/levý).
<b><i>Pogonion</i></b>	Bod umístěný nejvíce anteriorně na měkkém profilu brady.

## 5.2. Analýza dat

K analýze dat byl použit program Morphome3cs II, který vytvořila Skupina počítačové grafiky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy ve spolupráci s Laboratoří 3D zobrazovacích a analytických metod na Přírodovědecké fakultě téže univerzity. Software slouží pro výzkum především v oblasti antropologie a archeologie s cílem sjednotit funkce landmarků a křivek, následně data statisticky analyzovat a prezentovat výsledky formou vizualizace. Vychází z principů geometrické morfometrie, pomocí které je asymetrie zachycena srovnáním jedince s jeho zrcadlově převráceným protějškem (Krajíček et al., 2012).

### 5.2.1. Coherent point drift – Dense correspondence analýza

U jednotlivých 3D objektů je jejich pokrytí vrcholy trojúhelníkové sítě nepravidelné a u každého odlišné. Proto musí před zahájením jakékoli statistické analýzy dat dojít k jejich úpravě, konkrétně k vynucení homologie vertexů (vrcholů), čímž se sjednotí topologie všech meshů. Každý vrchol tak bude ležet na stejném anatomickém znaku (Dupej et al., 2013; Moslerová et al., 2018). Tato úprava je provedena Coherent point drift – Dense correspondence analýzou (CPD – DCA) za využití automatické nerigidní registrace (Myronenko and Song, 2010).

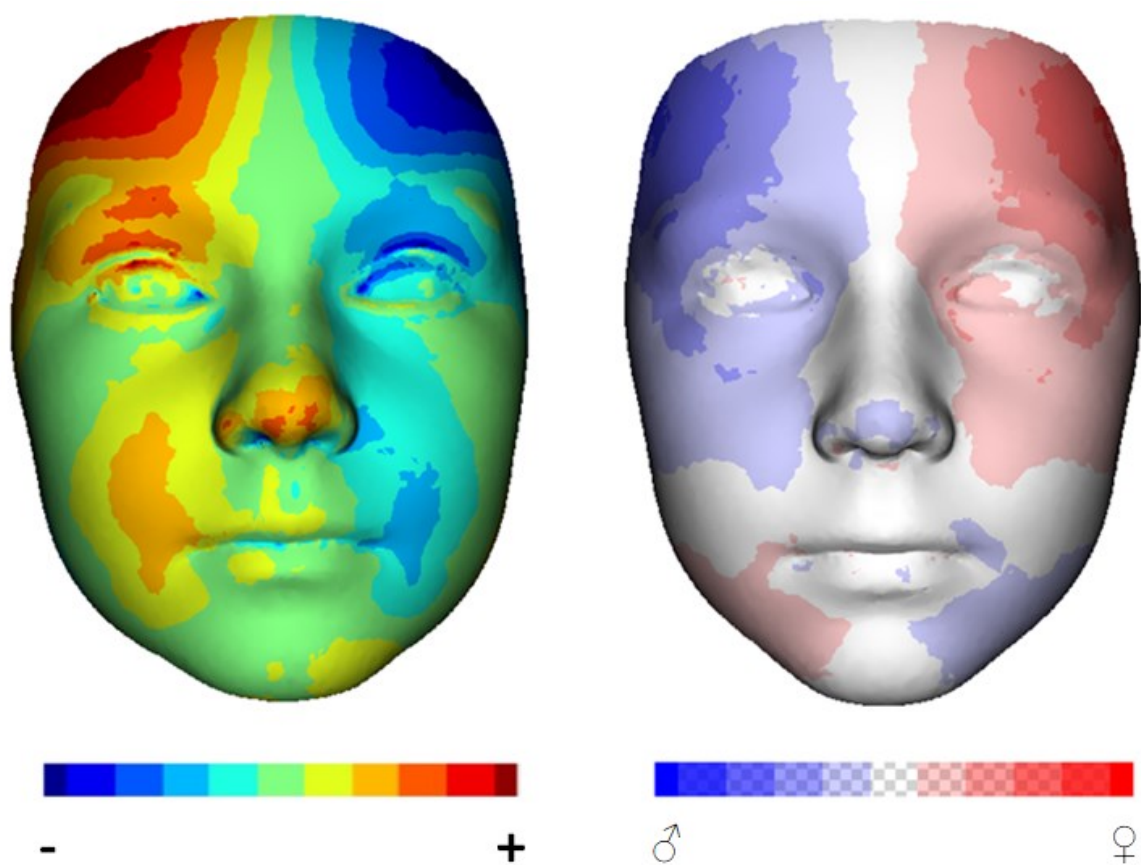
Nejprve je vybrán jeden z 3D modelů – base mesh, všechny ostatní meshe označované jako floating (moving) meshes budou sdílet jeho topologii, přičemž si ale zachovají svůj tvar (Dupej et al., 2013). Výběr base meshe může ovlivnit výsledek, proto by se neměl příliš lišit od zbylých meshů ze vzorku (Krajíček et al., 2012). Pomocí Prukrustovské superimpozice (metodou nejmenších čtverců mezi korespondujícími landmarky) se moving meshes rigidně zarovnají podle base mesh. Následuje Thin-plate splines (TPS) interpolace, která zdeformuje moving meshes podle base mesh tak, aby byly co nejbližší u sebe. Nakonec je ke každému moving mesh sestaven nový (corresponding) mesh se stejnou topologií jako reference mesh, ale s tvarem odpovídajícím moving mesh (Krajíček et al., 2012; Moslerová et al., 2018; Dupej et al., 2013).

### 5.2.2. Analýza asymetrie

Před zahájením vlastní analýzy asymetrie musí být všechny vrcholy meshů transformované do stejného souřadnicového prostoru pomocí rigidní landmarkové registrace – GPA (Generalized Procrustes Analysis). Následně jsou meshe přepočítány na stejný počet vrcholů a stejnou topologii.

Ke každému corresponding mesh je vytvořen zrcadlově převrácený mesh negací jedné z vrcholových souřadnic a stejnou metodou, jako u corresponding meshes mu je vynucena topologie jeho nepřevráceného zrcadlového protějšku. I u landmarků dojde k zrcadlovému převrácení a následně se použijí k zarovnání zrcadlového meshe podle původního. Nyní lze vypočítat individuální asymetrii každého meshe odečtením vzdálenosti vrcholů originálních a zrcadlově převrácených meshů. Výsledné vektory udávají individuální asymetrii. Pokud by byly nulové, jednalo by se o naprosto symetrické tvary. Direkcionální asymetrie vzorku se následně spočítá jako průměr všech vektorů individuální asymetrie (Krajíček et al., 2012).

Výsledkem analýzy asymetrie v programu Morphome3cs II jsou barevné mapy zobrazující direkcionální asymetrii tvaru obličeje, nevypovídají však nic o směru (Krajíček et al., 2012; Moslerová et al., 2018). K rozlišení výsledků a pro lepší přehlednost byly nejprve použity mapy se škálou od tmavě modré přes zelenou až po tmavě červenou, kde zelená místa značí oblasti bez asymetrie (pravá polovina obličeje zde odpovídá levé), místa v teplých barevných tónech od žluté až po tmavě červenou jsou oblasti s pozitivními hodnotami asymetrie; originální mesh je v těchto místech před jeho zrcadlově převráceným protějškem, a pokud je naopak původní obraz za zrcadlovým protějškem (tedy v retruzi), barevné mapy tyto oblasti zobrazují na škále studených barev od tyrkysové až po tmavě modrou (viz obr. 3). Čím sytější barvy jsou, tím je asymetrie výraznější. V další části diplomové práce pak byly použity pouze mapy červeno-modré, které zobrazují rozdíl asymetrie mezi dvěma skupinami jedinců. Červené oblasti leží před zrcadlově převráceným protějškem, což znamená, že jsou v protruzi, modré oblasti jsou naproti tomu umístěny za zrcadlovým protějškem, tedy v retruzi. Třetí kapitola praktické části diplomové práce srovnává rozdíl asymetrie mezi dívkami a chlapci, a proto byly zvoleny opět červeno-modré mapy, kde červená barva značí pozitivní hodnoty asymetrie u dívek, zatímco modrá barva značí pozitivní hodnoty asymetrie u chlapců (viz obr. 3).



**Obr. 3: Ukázka zobrazení barevných map. Vlevo příklad směrové asymetrie u dívek ve věku 6 – 8 let, vpravo červeno-modrá mapa zobrazující rozdíl asymetrie mezi chlapci a dívkami ve věku 6 – 8 let.**

### 5.2.3. T-test

Pro statistické vyhodnocení, zachycení skupinového trendu DA a odfiltrování náhodných odchylek DA v souboru dat využívá software Studentův t-test. Pracuje s vektory asymetrie, které byly naměřeny při srovnávání jedinců s jejich zrcadlovými protějšky. Výsledkem je mapa signifikance (Krajíček et al., 2012), kde jsou statisticky významné hodnoty ( $p < 0,05$ ) zobrazeny v odstínech modré barvy, zatímco nesignifikantní oblasti bílé (Moslerová et al., 2018). Výsledné p-hodnoty pro každý vrchol označují minimální úroveň, při které lze předpokládat, že DA v tomto vrcholu skutečně představuje trend studovaného vzorku jedinců (Krajíček et al., 2012). Čím je p-hodnota menší, a tedy asymetrie statisticky významnější, tím je odstín modré tmavší. Nejtmavší modrou jsou znázorněny p-hodnoty menší než 0,001, prostřední odstín modré vyjadřuje rozmezí od 0,001 do 0,01 a světle modře jsou potom hodnoty do 0,05 a zároveň vyšší než 0,01 (viz obr. 4).



Obr. 4: Ukázka zobrazení statisticky významných oblastí asymetrie u dívek ve věku 6 – 8 let.



## 6. Výsledky

Při hodnocení obličejové asymetrie u dětí byla sledována jednak asymetrie v každé věkové kategorii (1 – 4) zvlášť u dívek a zvlášť u chlapců, dále byly porovnány po sobě jdoucí kategorie mezi sebou zvlášť u dívek i u chlapců, následně byly zhodnoceny rozdíly v asymetrii mezi dívkami a chlapci vždy v rámci stejné věkové kategorie a nakonec došlo ke srovnání rozdílů výsledků transversálních dat s výsledky z dat longitudinálních, které zpracovala Mgr. Eva Hoffmannová. Celkově jsou tak výsledky rozděleny do 4 podkapitol.

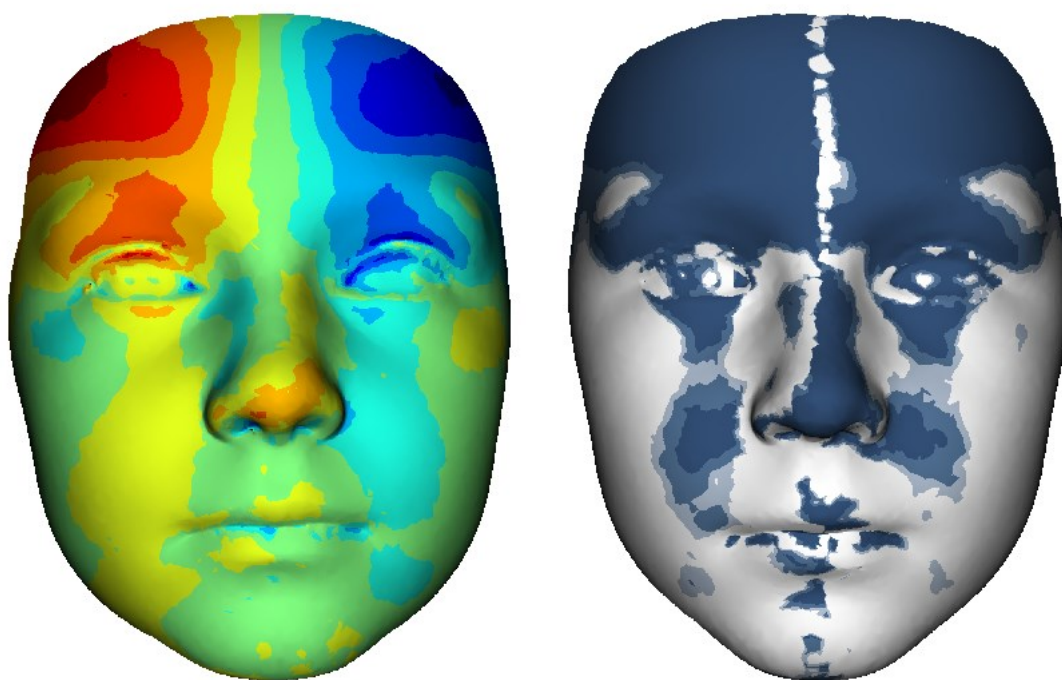
Barevné mapy obličejů zobrazují míru nesouměrnosti, přičemž odstíny teplých barev značí danou část obličeje v protruzi (více vpředu), zatímco studené odstíny místům retruzivním (více vzadu). Jelikož je asymetrie na pravé polovině obličeje porovnávána s jejím zrcadlovým protějškem na straně levé, mělo by se umístění barevných míst v teplých tónech na jedné polovině téměř shodovat s odpovídající intenzitou na škále chladných barev na polovině druhé (Moslerová et al., 2018). Stejný princip je potom použit u map červeno-modrých zachycujících rozdíly asymetrie mezi dvěma srovnávanými kategoriemi. Pro barevné i červeno-modré odstíny byla pro vhodnou přehlednost intenzity asymetrií zvolena škála 10 odstínů a rozmezí stupnice od -0,003 do 0,003.

### 6.1. Hodnocení asymetrie obličeje v jednotlivých věkových kategoriích

Děti byly rozřazeny do čtyř kategorií podle věku – 1. kategorie zahrnovala děti od 3 do 5,99 let, 2. kategorie děti od 6 do 8,99 let, ve 3. kategorii byly děti staré 9 – 11,99 let a v poslední 4. kategorii děti od 12 do 15,99 let. Hodnoceny pak byly zvlášť dívky a zvlášť chlapci v každé z kategorií. Tyto věkové kategorie byly zvoleny na základě přechozích poznatků uvedených v diplomové práci Mgr. Miroslavy Moštkové (2018) zabývající se sledováním růstu obličeje u dětí za použití stejné transversální databáze, která byla využita i v této diplomové práci. Z výsledků její práce vyplynulo, že pro sledování reálného vývojového růstového trendu u transversálních dat je vhodné využít širší věkové intervaly, čímž dojde ke snížení vlivu předčasného dospívání a tedy růstu u některých jedinců v populaci. Zároveň však pro hodnocení dat longitudinálních je vhodné využít naopak kratší roční intervaly. Diplomová práce předpokládá podobné fungování vývojových trendů i při studiu obličejové asymetrie, proto byla transversální data rozdělena do širokých věkových intervalů.

### 6.1.1. Dívky ve věku od 3 do 5 let

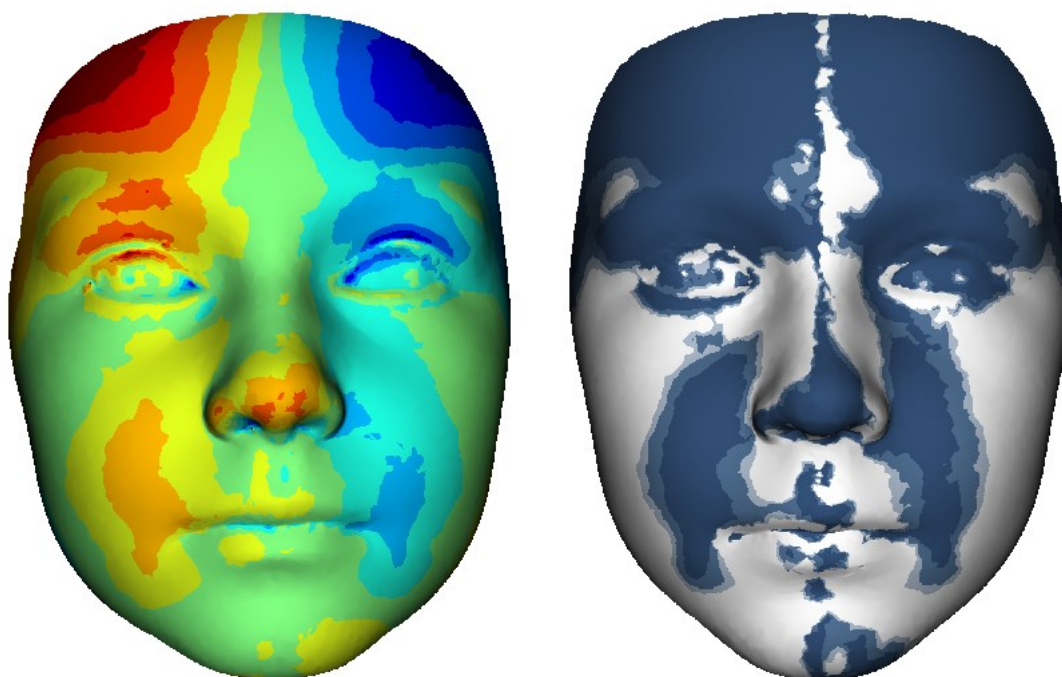
Nejmladší dívky měly nejvýraznější asymetrii v oblasti čela, které je statisticky významně nesouměrné téměř v celém jeho rozsahu s výjimkou úzkého středového pásu přibližně kopírujícího mediánní rovinu. Výrazně zbarvené a tedy asymetrické jsou oblasti měkkých tkání pokrývajících *tubera frontalia*, přičemž pravá strana je v protruzi oproti straně levé. Signifikantní je i oblast očí a jejich okolí. Zde je výrazná asymetrie nad horními očními víčky a v mediánní oblasti obočí více vpředu na pravé straně. Od dolních očních víček postupuje inferiorně po tvářích pásmo, které je signifikantně asymetrické až do úrovně *alae nasi*, se stejnou převažující polovinou obličeje, jako v oblasti čela a očí. Výjimku představuje vnitřní koutek oka, který je retruzivní na pravé i levé straně. Na nose je zjevná protruze v okolí *apex nasi* a po celé délce nosu od *radix nasi* až po *alae nasi* na levé straně obličeje. V oblasti rtů je zřetelná asymetrie ve spodní části *philtrum*, dále mediální část *labium superior* a laterální oblast *labium inferior* vpravo jsou též protruzivní. Brada je u nejmladších dívek symetrická kromě malé části mediálně kopírující *symphysis menti*.



Obr. 5: Vizualizace asymetrie obličeje dívek ve věku 3 – 5 let.

### 6.1.2. Dívky ve věku od 6 do 8 let

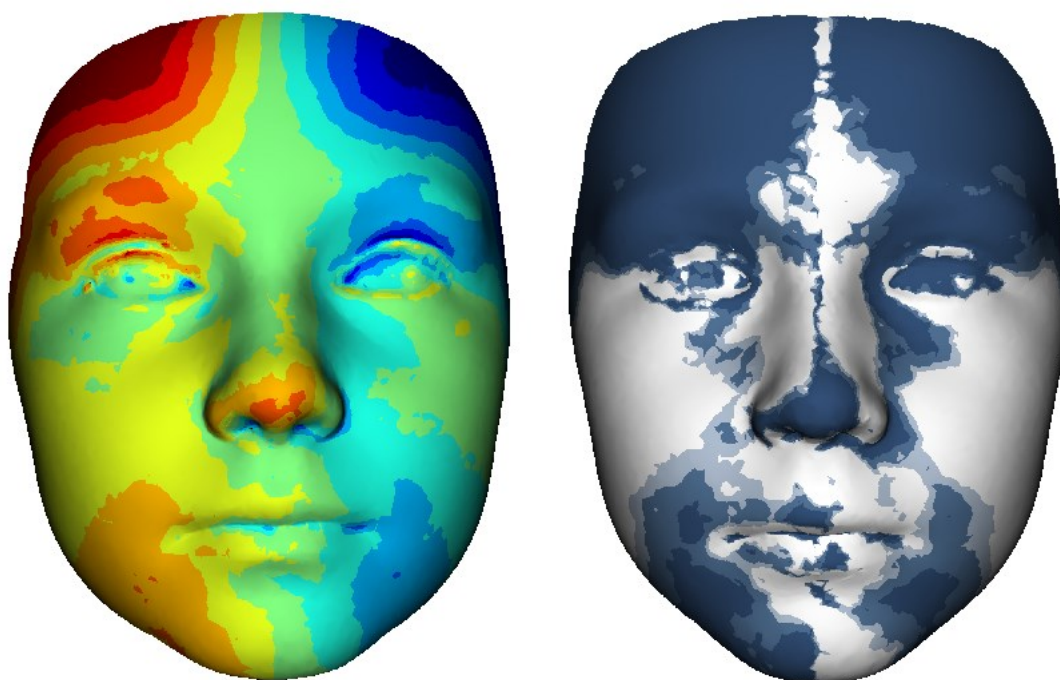
Ve druhé kategorii u dívek můžeme vidět podobné motivy asymetrie, jaké byly v kategorii předchozí, nicméně najdeme zde drobné odlišnosti. V oblasti čela je asymetrie velmi podobná, nejvíce asymetrická místa jsou posunuta superiorně a laterálně, v místě kořene nosu a přilehlé mediální roviny asymetrie lehce ustupuje. V očním okolí se asymetrie téměř shoduje s tou z předchozí kategorie, intenzita na obočí již však není tak výrazná. Retruze vnitřních koutků očí zůstává. Nesouměrnost tváří v pásu jdoucím od dolních očních víček, podél nosu až ke spodnímu rtu je zřetelná u dívek i v této věkové kategorii, oproti mladším se však zvětšila intenzita celé asymetrie. V oblasti nosu je opět patrná protruze *apex nasi*, na rozdíl od předchozí kategorie již asymetrie nepokračuje po celé délce levé strany nosu. Těsně pod *nares* jsou lehce retruzivní místa na obou polovinách obličeje. Rty jsou protruzivní v mediální oblasti jak u rtu horního, kde je zároveň více vpředu i jeho pravá polovina, tak u rtu dolního. Na levé straně brady vidíme protruzivní oblast, ke které však neexistuje odpovídající retruze na opačné polovině. Na celém obličeji s výjimkou oblasti brady převažuje pravostranná dominance asymetrie.



Obr. 6: Vizualizace asymetrie obličeje dívek ve věku 6 – 8 let.

### 6.1.3. Dívky ve věku od 9 do 11 let

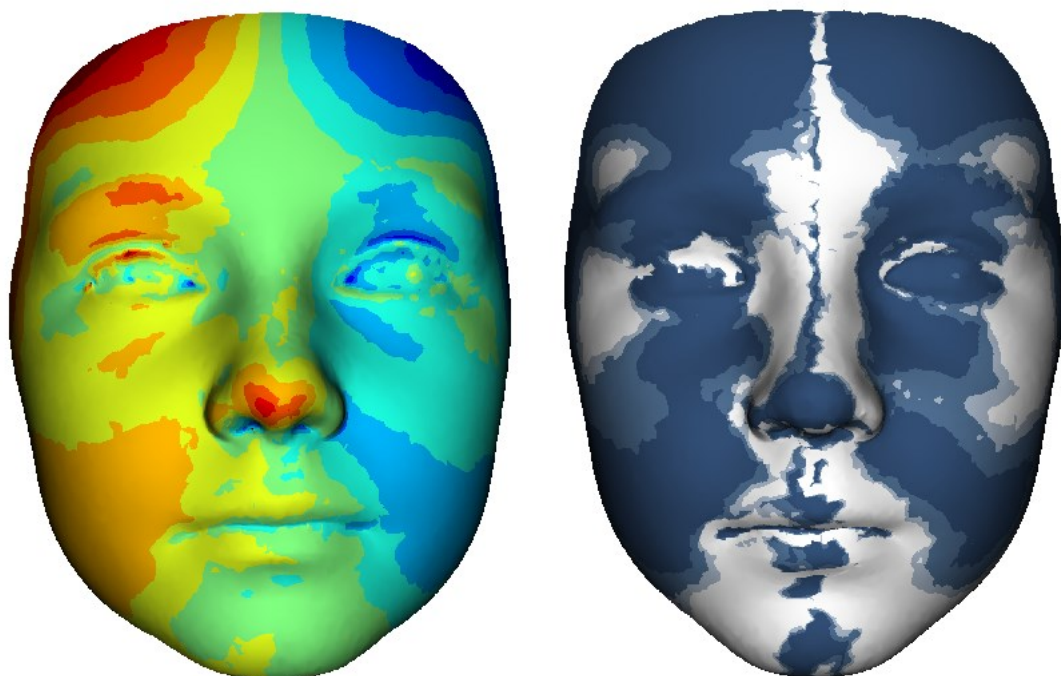
U dívek ze třetí věkové kategorie se asymetrie obličeje opět mírně změnila oproti dívkám mladším. Na čele pokračuje trend z předchozí kategorie, kdy se s přibývajícím věkem nejintenzivnější oblast nesouměrnosti posouvá superiorně a laterálně, zatímco symetrie v oblasti *glabella* a jejím okolí se mírně rozšiřuje. Oblast očí se příliš nemění, nejvýraznější asymetrie *palpebra superior dexter* se oproti předchozí kategorii posunula laterálně, levé oko je stále v retruzi vůči oku pravému. Asymetrie tváří jdoucí od spodního očního víčka v těsné blízkosti podél nosu až ke spodnímu rtu je v této kategorii v porovnání se dvěma předchozími velmi redukována. V oblasti nosu je opět zřetelná protruze *apex nasi* a retruze pod *nares*. U dívek ve věku od 9 do 11 let již vidíme retruzivní *anguli oris*, naopak v protruzi je horní i dolní ret vpravo a mediálně. Nejvýraznější změnu asymetrie oproti mladším dívkám však pozorujeme v oblasti brady. Na pravé straně brady se nachází velmi signifikantní nesouměrnost, která pokračuje až do zhruba dvou třetin *corpus mandibulae*. Úzké symetrické místo se na bradě vyskytuje pouze uprostřed a mírně vlevo.



Obr. 7: Vizualizace asymetrie obličeje dívek ve věku 9 – 11 let.

#### 6.1.4. Dívky ve věku od 12 do 15 let

V poslední věkové kategorii jsou opět patrné změny asymetrie vůči kategoriím předchozím. I zde pokračuje trend posunu asymetrie čela superiorně a laterálně, a ačkoliv je signifikantní většina plochy čela, nejvýrazněji asymetrické oblasti jsou oproti mladším dívkám zredukovány. Výrazná asymetrie laterální oblasti obočí se prodloužila oproti minulé kategorii směrem mediálním. Oči vykazují téměř shodnou nesouměrnost ve všech čtyřech kategoriích – tedy retruze u levého oka, s výjimkou vnitřních očních koutků, které jsou retruzivní u obou očí. Protruze špičky nosu je ve čtvrté věkové kategorii nejvýraznější ze všech a oproti předchozí kategorii se protruze přilehlé části nosu přesunula z levé strany na pravou. Koutky rtů jsou i u nejstarších dívek v retruzi a mediální oblast horního a dolního rtu v protruzi. K největším změnám asymetrie dochází na tvářích a bradě. Signifikantně nesouměrná je oblast pod dolním očním víčkem s pravostrannou dominancí, stejně tak i celá tvář od úrovně *alae nasi* inferiorně po *corpus mandibulae* a dorzálně k *ramus mandibulae*. Asymetrie brady se oproti dívkám z předchozí kategorie přesunula mediálně do oblasti *symphysis menti*.

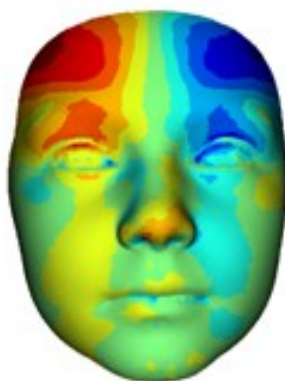


Obr. 8: Vizualizace asymetrie obličeje dívek ve věku 12 – 15 let.

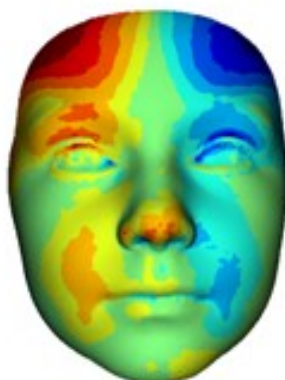


# DÍVKY

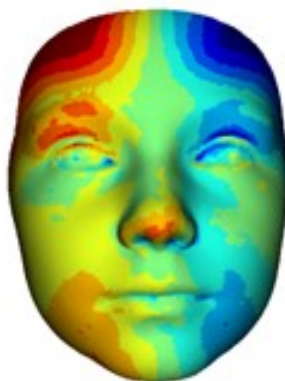
3 – 5 let



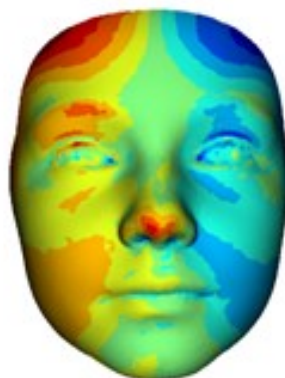
6 – 8 let



9 – 11 let



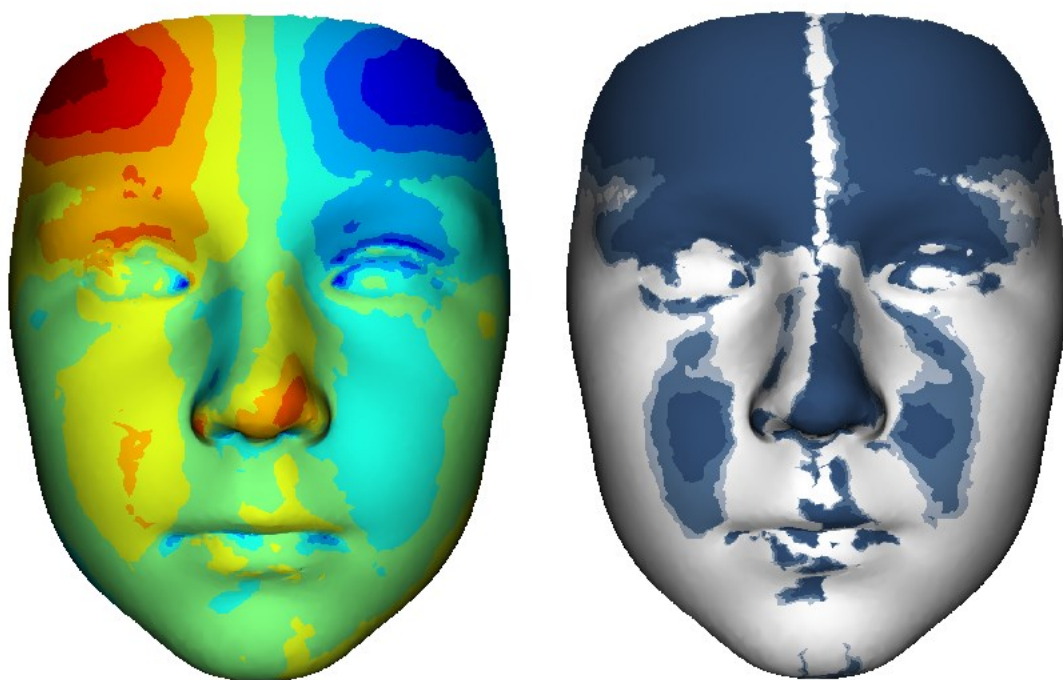
12 – 15 let



Obr. 9: Vizualizace asymetrie obličeje dívek ve věku 3 – 15 let, souhrnný přehled.

### 6.1.5. Chlapci ve věku od 3 do 5 let

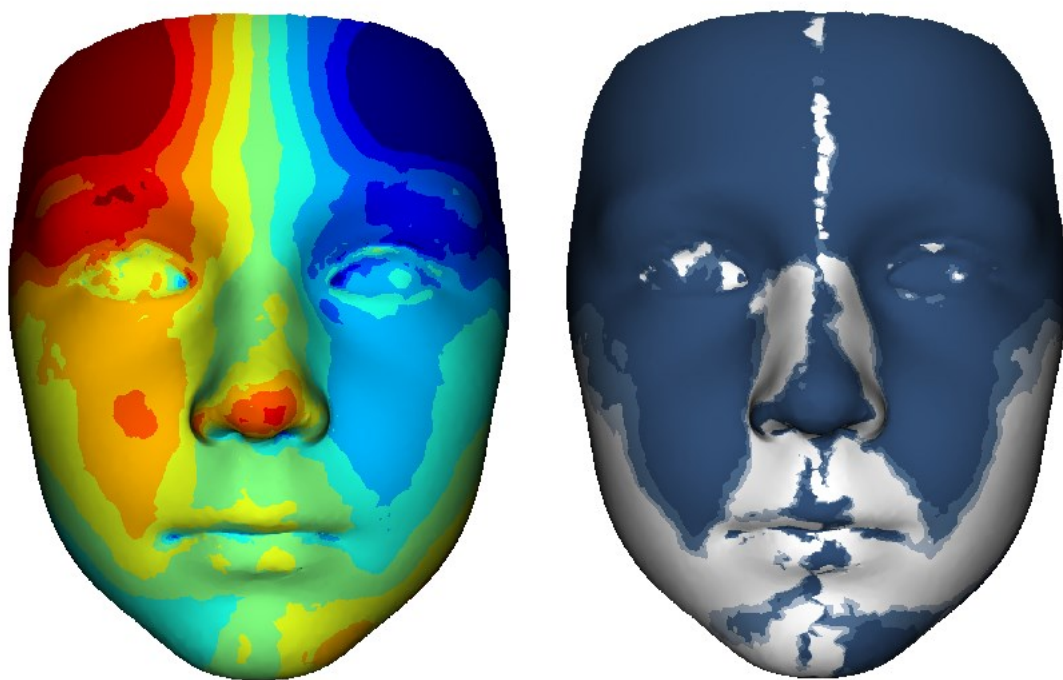
U nejmladších chlapců je podle mapy signifikance asymetrické téměř celé čelo s výjimkou úzkého pásu uprostřed podél sagitální roviny. Protruzi zde nacházíme vpravo. Oblast obočí a horních očních víček je rovněž nesouměrná se stejnou dominantní polovinou obličeje, jako u čela. Vnitřní koutky obou očí jsou v retruzi stejně tak jako většina levého oka. V oblasti tváří mediálně vystupuje mírná asymetrie podél celého nosu od dolních očních víček až po úroveň rtů s protruzí na pravé polovině obličeje. Laterální oblast tváří je souměrná. Asymetrie nosu je zde stejně jako u dívek z první kategorie dominantní vlevo, *apex nasi* je také v protruzi. Na úrovni *nares* pak vidíme retruzivní oblast. Mírná protruze *philtrum* na levé straně obličeje plynule pokračuje až na *labium superior*, u *labium inferior* se vyskytuje naopak vpravo. Oba koutky úst jsou retruzivní. Brada je lehce protruzivní v levé části, odkud asymetrie pokračuje po celé délce *corpus mandibulae*, nicméně tato asymetrie není signifikantní.



Obr. 10: Vizualizace asymetrie obličeje chlapců ve věku 3 – 5 let.

### 6.1.6. Chlapci ve věku od 6 do 8 let

Chlapci z druhé kategorie mají nejvíce obličejové asymetrie ze všech skupin, a to nejen mezi chlapci, ale i ve srovnání s dívkami. Téměř celé čelo je nesouměrné s výjimkou velmi úzkého pásu podél mediální roviny, protruze se vyskytuje vpravo a je velmi výrazná. Stejná je i asymetrie obočí a horního očního víčka. Oči jsou taktéž asymetrické, přičemž retruzi vidíme opět u obou vnitřních koutků a na celém levém oku. Od dolních očních víček až k úrovni rtů pokračuje asymetrie tváří, nicméně u této skupiny zabírá mnohem širší oblast signifikance, a to od úrovně vnitřních koutků očí až po koutky vnější. Laterální oblasti tváří ve střední a dolní třetině obličeje jsou symetrické. *Apex nasi* a částečně i levá polovina nosu vykazují silnou protruzi. V oblasti rtů oproti předchozí skupině chlapců došlo k posunu protruze u horního rtu na pravou stranu, u dolního rtu naopak doleva. Retruze koutků úst zůstává stejná. Ve srovnání s předchozí kategorií však vidíme výraznou protruzivní část na levé polovině brady a *corpus mandibulae*, pravá strana je v retruzi.

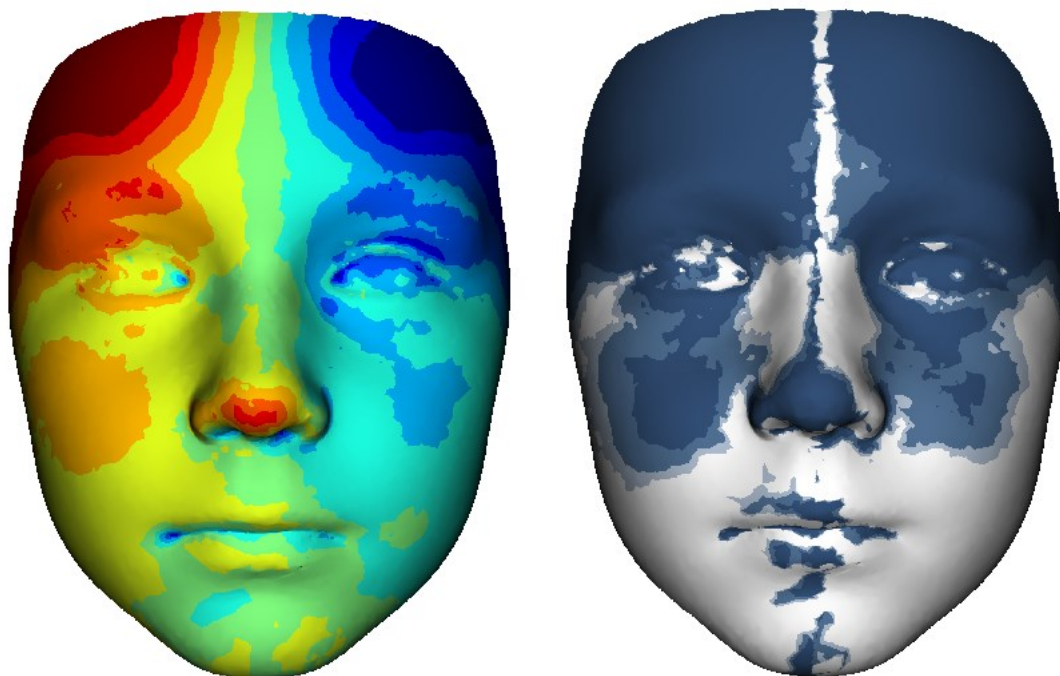


Obr. 11: Vizualizace asymetrie obličeje chlapců ve věku 6 – 8 let.



### 6.1.7. Chlapci ve věku od 9 do 11 let

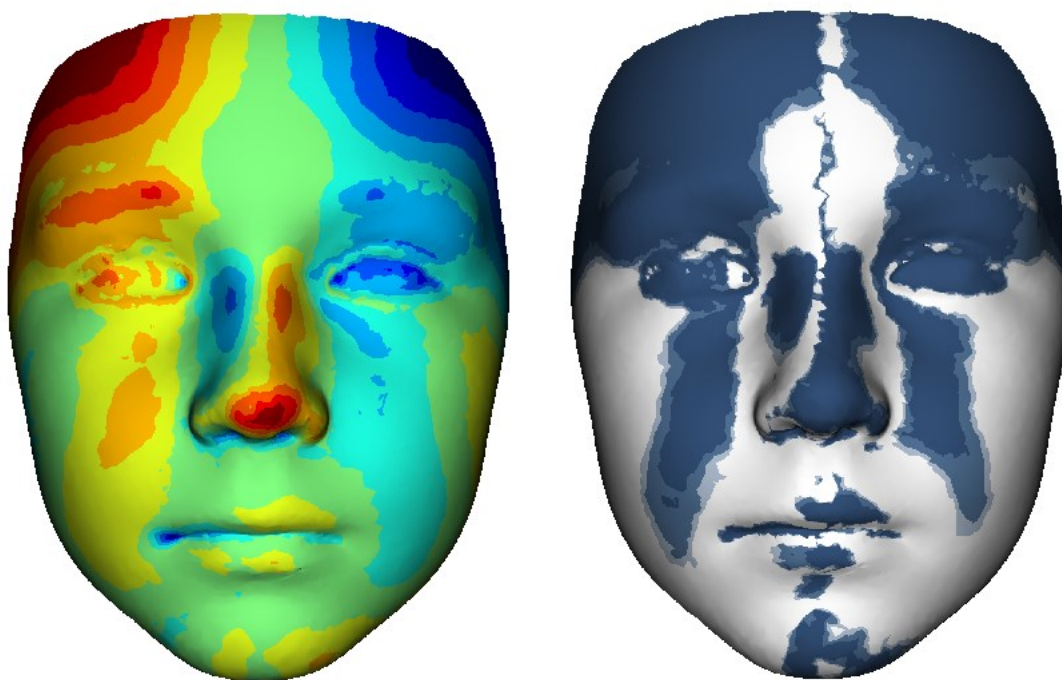
U chlapců ve věku od 9 do 11 let dle mapy signifikance se obličejová asymetrie oproti předchozí skupině zmenšila, nicméně oblast čela je v tomto ohledu téměř identická. Úzký pruh symetrie podél mediánní osy zůstává, stejně jako výrazná protruze pravé poloviny čela. V oblasti obočí a očí se asymetrie mírně zmenšila ve srovnání s předchozí kategorií, mapa signifikance je však stále zbarvená tmavě modrou barvou značící zřetelnou nesouměrnost. Motiv asymetrie na tvářích jdoucích v pásmu od dolního očního víčka podél nosu až ke rtům, který byl patrný v předchozích dvou kategoriích, se zde změnil. Asymetrie končí již na úrovni *alae nasi*, výrazná je zejména v oblasti pokrývající *processus zygomaticus maxillae* a je protažena více laterálně. Protruzivní *apex nasi* přetrvává i v této kategorii, protruze přilehlé části *dorsum nasi* a následně *alae nasi* se však přesunula na pravou stranu. Přesun asymetrie nosu z levé na pravou stranu s přibývajícím věkem bylo patrné i u dívek, nicméně k této změně došlo o jednu věkovou kategorii později. Oblast pod *nares* zůstává v retruzi. Asymetrie horního a dolního rtu je zřejmá v jejich mediální části, koutky úst jsou opět retruzivní. Na bradě a v jejím okolí asymetrie téměř vymizela s výjimkou malé oblasti na *symphysis menti*, jejíž superiorní část je v retruzi a inferiorní část v protruzi.



Obr. 12: Vizualizace asymetrie obličeje chlapců ve věku 9 – 11 let.

### 6.1.8. Chlapci ve věku od 12 do 15 let

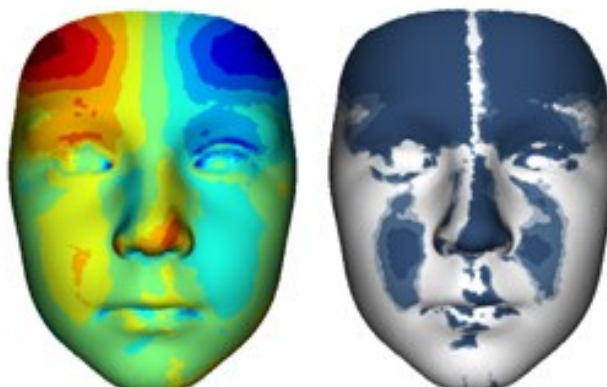
V poslední věkové kategorii chlapců vidíme zmenšení obličejové asymetrie, a to i v oblasti čela mediálně. Pořád zde převažuje trend pravostranné protruze, nicméně je posunuta superiorně a laterálně. Obočí vykazuje téměř identickou asymetrii jako u předchozí skupiny, v jeho bezprostředním okolí se však nesouměrnost zmírnila. Oblast očí je taktéž protruzivní vpravo zejména v laterální části, mediálně jsou koutky očí v retruzi. Ve srovnání s předchozí kategorií je zde opět patrný motiv asymetrie na tvářích jako u kategorie první a druhé, který jde v úzkých pásmech od dolních očních víček až po úroveň rtů s protruzí na pravé polovině obličeje. V oblasti kořene nosu vznikla nová asymetrie, která nebyla u žádné z předchozích skupin. Protruze levé strany probíhá od *radix nasi* po celé délce *dorsum nasi*, až k *apexu*, jehož protruze je v této věkové kategorii nejvýraznější. Značnou retruzi vidíme u pravého koutku úst a u *rima oris*. Asymetrie *labium inferior* zůstala stejná jako ve třetí kategorii, u *labium superior* se posunula doleva. Nesouměrnost brady mediálně se mírně zvětšila.



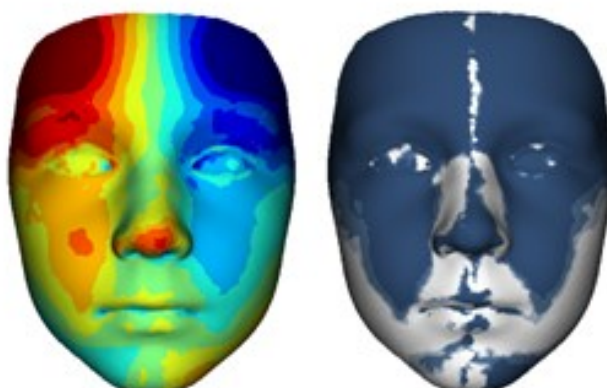
Obr. 13: Vizualizace asymetrie obličeje chlapců ve věku 12 – 15 let.

# CHLAPCI

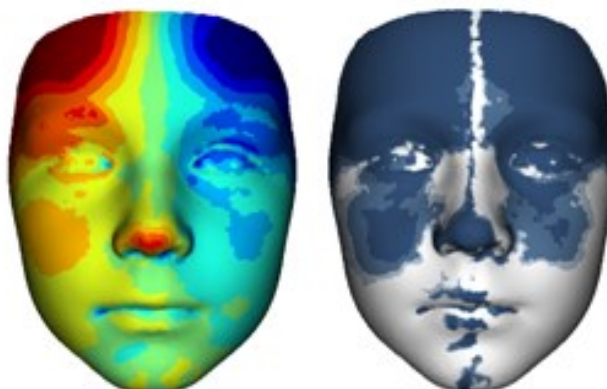
3 – 5 let



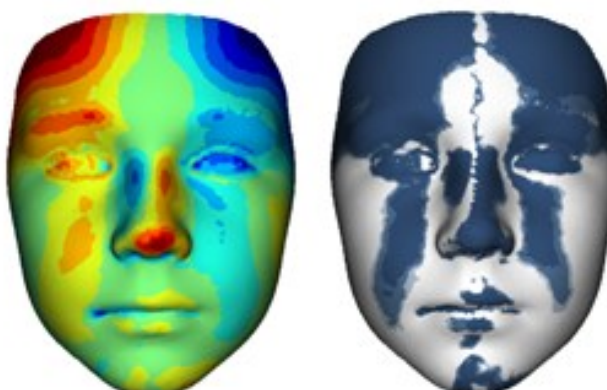
6 – 8 let



9 – 11 let



12 – 15 let



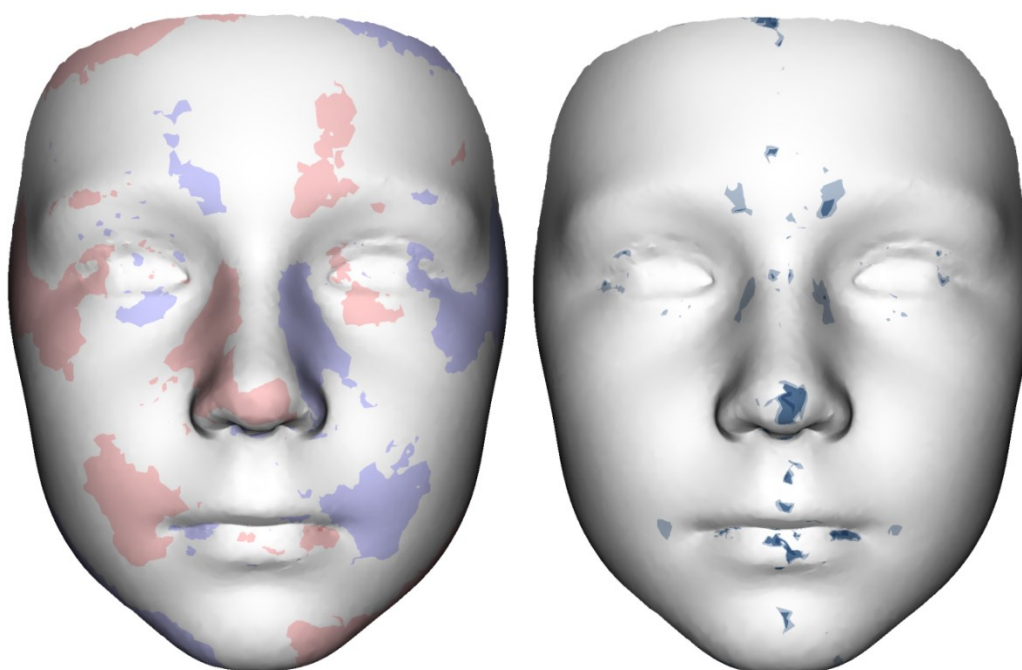
Obr. 14: Vizualizace asymetrie obličeje chlapců ve věku 3 – 15 let, souhrnný přehled.

## 6.2. Srovnání asymetrie v po sobě jdoucích věkových kategoriích u dívek a u chlapců

V této kapitole byly mezi sebou porovnávány po sobě jdoucí věkové kategorie, nejprve zvlášť u dívek a poté zvlášť u chlapců. Důvodem bylo zhodnotit změnu obličejové asymetrie s přibývajícím věkem, případně najít určitý trend v jejím vývoji. Rozdíl asymetrie mezi dvěma kategoriemi je zobrazen červenou a modrou barvou, přičemž červeně jsou označena místa značící protruzi vždy u té věkové kategorie, která ze dvou srovnávaných zahrnuje starší děti, v modrých oblastech jsou naopak protruzivní děti mladší oproti dětem starším.

### 6.2.1. Srovnání věkové kategorie 3 – 5 a 6 – 8 let u dívek

Při porovnání 1. a 2. věkové kategorie dívek se na barevné mapě nachází několik míst, ve které se dívky z hlediska asymetrií liší. Nicméně při pohledu na mapu signifikance je zřejmé, že tyto rozdíly nejsou příliš relevantní. Statisticky významné jsou pouze odlišnosti asymetrie v oblastech mediální části obočí, *apex nasi* a rtů. Dívky z 2. kategorie mají mírnou protruzi na pravé polovině obličeje v superio-laterální části čela, na *dorsum* a *apex nasi*, ve vnějším koutku oka, odkud asymetrie pokračuje laterálně do oblasti nad *os temporale*, a dále v bukální oblasti okolo koutku úst. Naopak levostrannou protruzi u starších dívek vidíme laterálně od *radix nasi* až k začátku obočí, u vnitřního koutku oka a malé oblasti pod ním, v koutku úst, v laterální části brady a přilehlém *corpus mandibulae*.

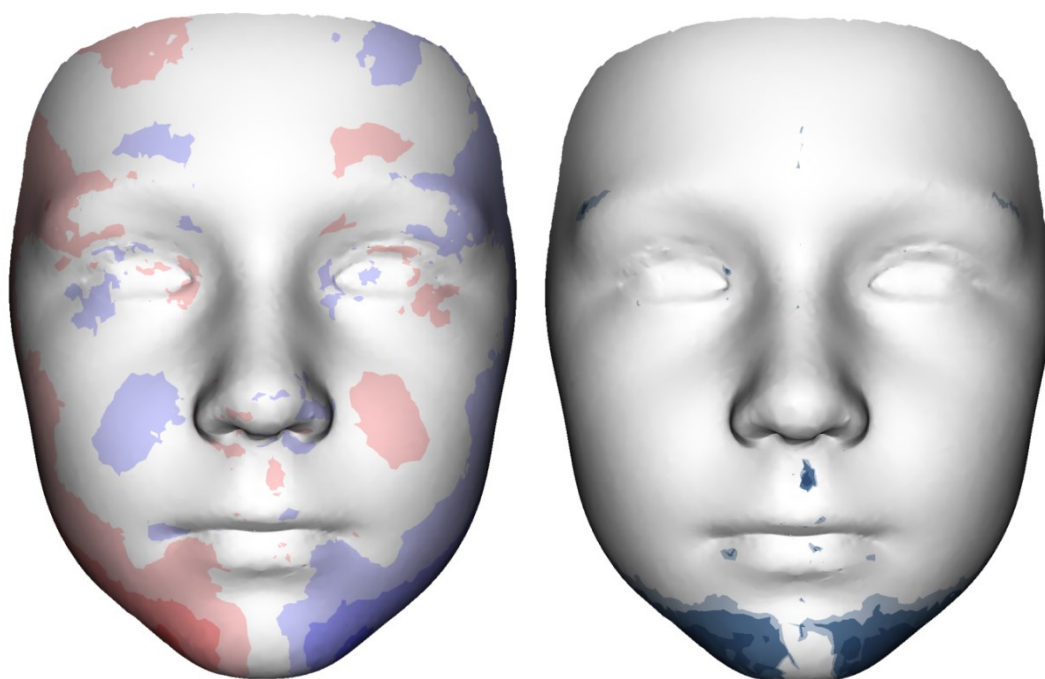


Obr. 15: Porovnání asymetrie obličeje u dívek v 1. a 2. kategorii.



### 6.2.2. Srovnání věkové kategorie 6 – 8 a 9 – 11 let u dívek

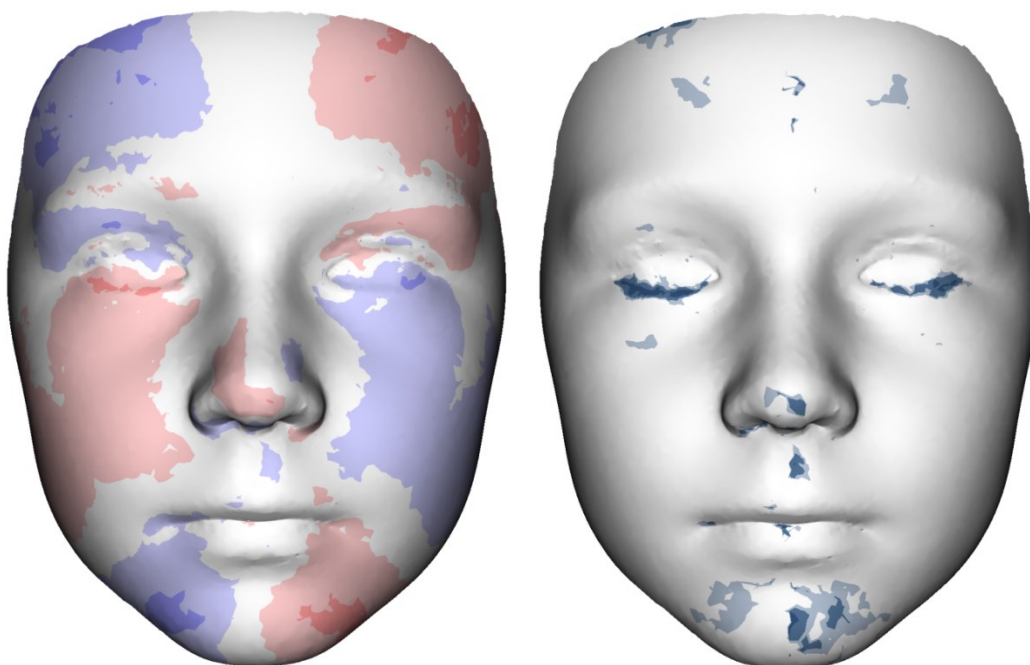
Signifikantní odlišnosti mezi dívkami z 2. a 3. kategorie jsou patrné v oblasti brady a *corpus mandibulae*, dále v malé části *philtrum* a na vnějším okraji obočí. Starší dívky ve věku 9 – 11let mají oproti dívkám z 2. kategorie protruzi na pravé straně čela v superiorní oblasti, dále laterálně od vnějšího konce obočí, ve vnitřním koutku oka a po téměř celé délce *corpus mandibulae* s výjimkou symetrické mediální části v bezprostřední blízkosti kolem *symphysis menti*. Asymetrie pokračuje od *angulus mandibulae* podél celého *ramus mandibulae*. Retruzivní mají na pravé polovině obličeje dívky z 3. kategorie naopak oblast pod vnějším koutkem oka, bukální část laterálně od *ala nasi* a koutek úst.



Obr. 16: Porovnání asymetrie obličeje u dívek ve 2. a 3. kategorii.

### 6.2.3. Srovnání věkové kategorie 9 – 11 a 12 – 15 let u dívek

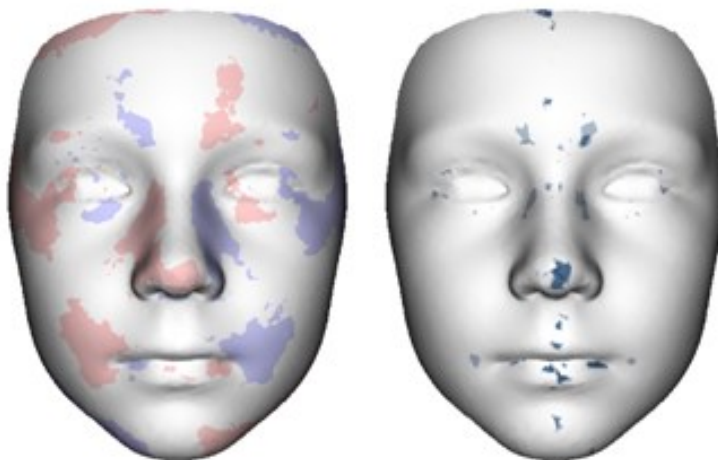
Nejstarší dívky mají oproti dívkám ze 3. kategorie signifikantní rozdíly asymetrie v oblasti dolního očního víčka, na špičce nosu, v malé části *philtrum* a na bradě. Velmi drobné oblasti signifikance najdeme i na čele. Při srovnání rozdílu asymetrie u starších dívek vůči mladším, tak jak tomu bylo dosud, vidíme rozdíl oproti předchozím kategoriím, jelikož pravá strana čela je u nejstarších dívek v retruzi, naopak levá strana v protruzi. Z toho je patrné, že nejvyšších hodnot asymetrie čela na pravé polovině obličeje dosahují dívky ve věku 9 – 11 let, poté se již tato nesouměrnost zmenšuje. Stejný trend nacházíme i v oblasti pravého horního očního víčka, které je taktéž u starších dívek méně asymetrické v porovnání s mladší kategorií, neplatí to však pro dolní oční víčko, které je vpravo stále v protruzi a více nesouměrné u dívek z poslední věkové kategorie. Protruzivní *apex nasi* značí, že špička nosu s přibývajícím věkem neustále roste, u nejstarších je dále protruzivní i přilehlá část *dorsum nasi* na pravé straně. Oblast brady vpravo je u dívek ze 4. kategorie retruzivní v porovnání s 3. věkovou kategorií, ve které byla v tomto místě protruze velmi výrazná. Zřejmě tak s věkem dochází k vyrovnání této nesouměrnosti.



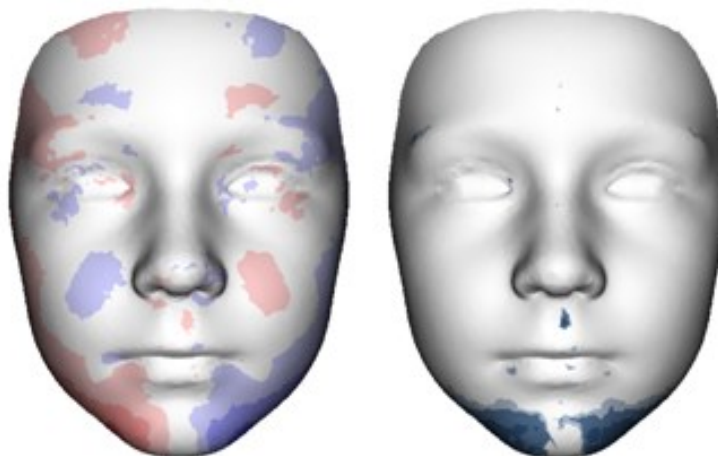
Obr. 17: Porovnání asymetrie obličeje u dívek ve 3. a 4. kategorii.

# DÍVKY

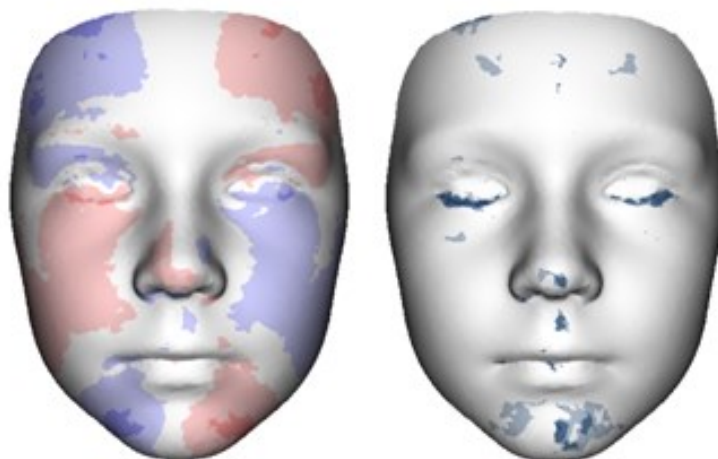
1. vs. 2. kategorie



2. vs. 3. kategorie



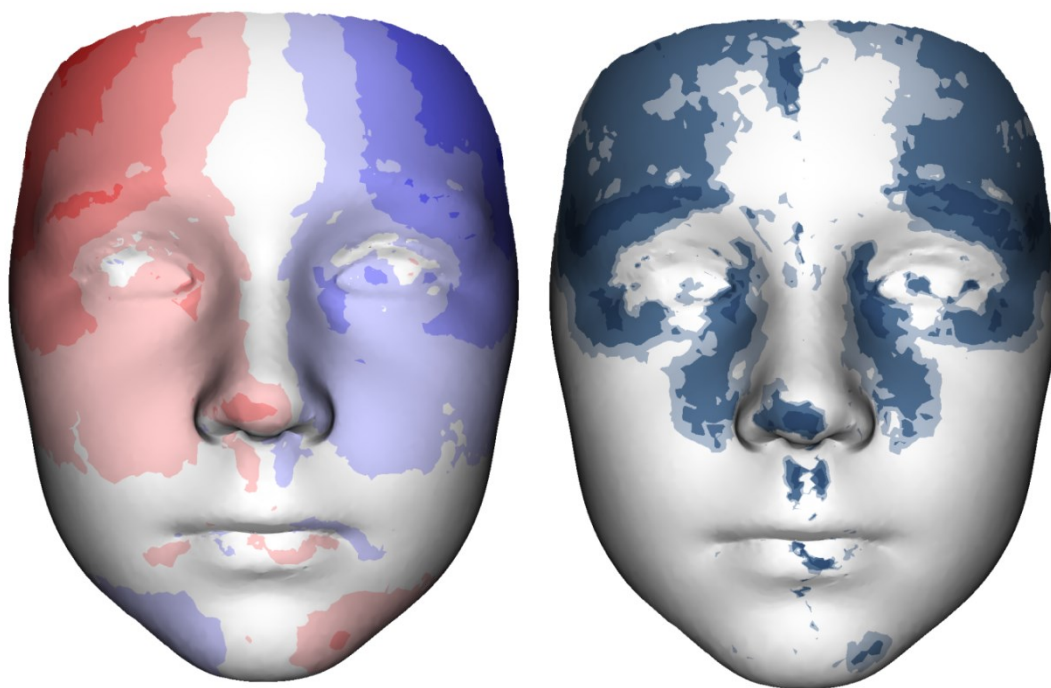
3. vs. 4. kategorie



Obr. 18: Porovnání asymetrie obličeje u dívek v 1. - 4. kategorii, souhrnný přehled.

#### 6.2.4. Srovnání věkové kategorie 3 – 5 a 6 – 8 let u chlapců

U chlapců jsou na první pohled zřejmé markantnější rozdíly v asymetrii obličeje ve srovnání s dívkami. Druhá kategorie chlapců má oproti první kategorii signifikantní odlišnosti asymetrie v laterální oblasti čela, laterální části obočí, v oblasti vnitřních koutků očí a přilehlé oblasti lemující okraj nosu, *apex nasi*, *philtrum*, mediální část *labium inferior* a laterální část brady. Největší rozdíl v asymetrii vidíme v laterální oblasti čela, které je u chlapců z druhé kategorie protruzivní na pravé polovině obličeje, ve srovnání s nejmladšími. Stejně tak u nich dominuje pravá strana v oblasti obočí, vnitřního koutku oka, horní třetiny tváře, špičky nosu a *philtrum*. Naopak pravá strana brady a přilehlá část *corpus mandibulae* jsou oproti mladším chlapcům v retruzi. Poslední rozdíl v asymetrii se nachází v mediální části dolního rtu, která je u chlapců ve věku 6 – 8 let vůči mladším protruzivní.

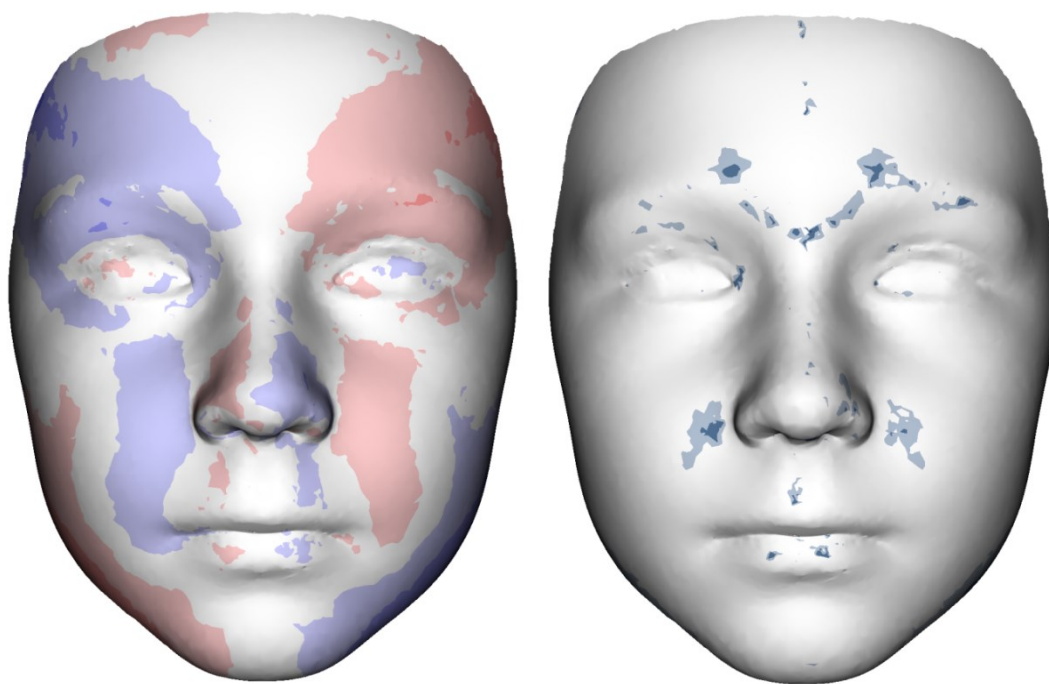


Obr. 19: Porovnání asymetrie obličeje u chlapců v 1. a 2. kategorii.



### 6.2.5. Srovnání věkové kategorie 6 – 8 a 9 – 11 let u chlapců

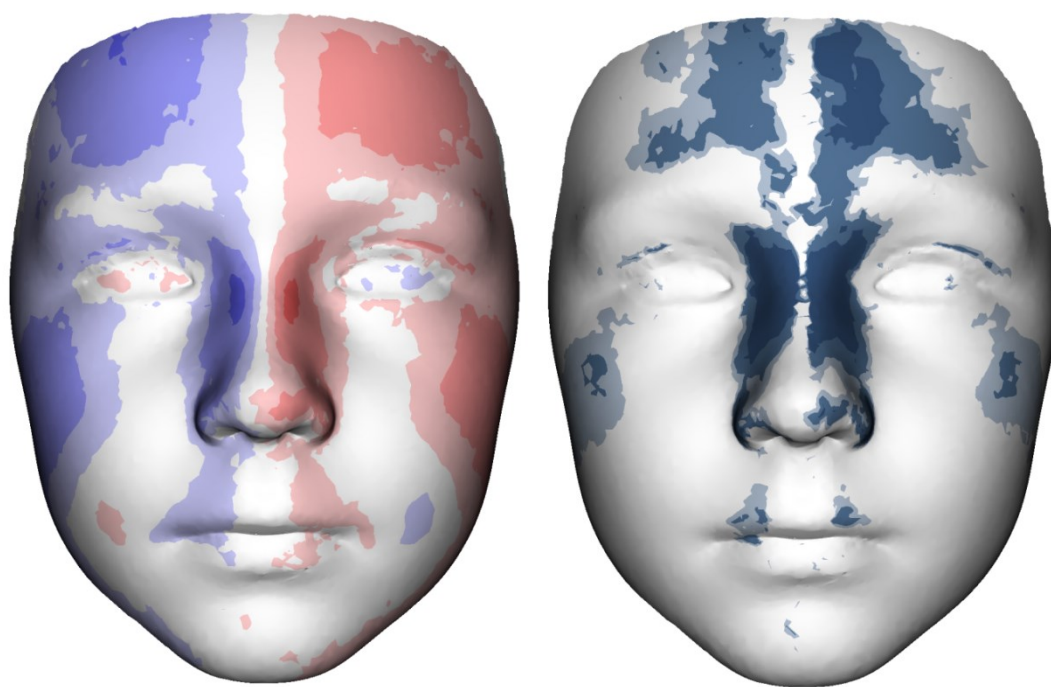
Velmi málo drobných modře zbarvených míst na mapě signifikance značí, že obličejová - asymetrie se u chlapců ve věku 9 – 11 let ve srovnání s chlapci 6 – 8letými příliš neliší. Lehké odlišnosti se nachází v oblasti čela nad začátkem obočí, ve vnitřních koutech očí a na tvářích laterálně od *alae nasi*. Mladší chlapci mají na pravé polovině obličeje v protruzi čelo, obočí, horní oční víčko a oblast tváří v úzkém pruhu podél okraje nosu až k ústnímu koutku, ve srovnání s chlapci ze třetí kategorie. Naopak *corpus mandibulae* a *ramus mandibulae* jsou vpravo protruzivní u starších, stejně jako část pravé poloviny *dorsum nasi*.



Obr. 20: Porovnání asymetrie obličeje u chlapců ve 2. a 3. kategorii.

### 6.2.6. Srovnání věkové kategorie 9 – 11 a 12 – 15 let u chlapců

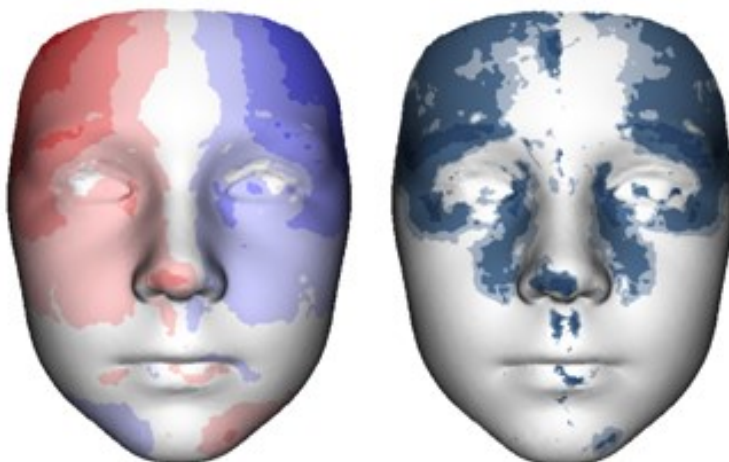
Při porovnání posledních dvou chlapeckých kategorií najdeme opět silně signifikantní místa značící rozdílnou asymetrii, jako tomu bylo u srovnání prvních dvou kategorií. Kromě úzkého symetrického pásu okolo mediální osy je asymetrie v oblasti čela odlišná zejména v jeho mediální části, což je rozdílné vůči předchozím kategoriím, kde se nesouměrnost nacházela spíše laterálně. Statisticky nejvýznamnější je odlišná asymetrie u *radix* a *dorsum nasi*, která je u nejstarších chlapců protruzivní na levé straně obličeje. Tato nesouměrnost byla dobře patrná v kap. 6.1.8. (viz obr. 10). Další rozdíl najdeme v laterální oblasti horní třetiny tváře, kterou mají chlapci ze třetí kategorie oproti starším chlapcům vpravo v protruzi. Posledním místem je oblast lemující *philtrum* od *nares* až po horní ret. I zde mají nejstarší chlapci pravou stranu retruzivní v porovnání s mladší kategorií.



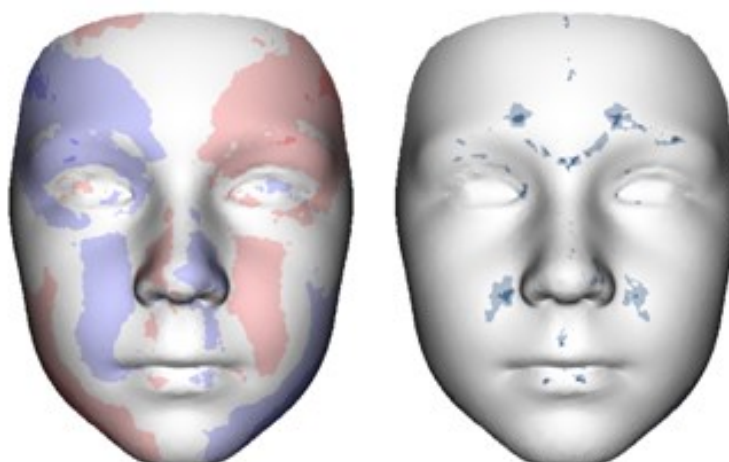
Obr. 21: Porovnání asymetrie obličeje u chlapců ve 3. a 4. kategorii.

# CHLAPCI

1. vs. 2. kategorie



2. vs. 3. kategorie



3. vs. 4. kategorie



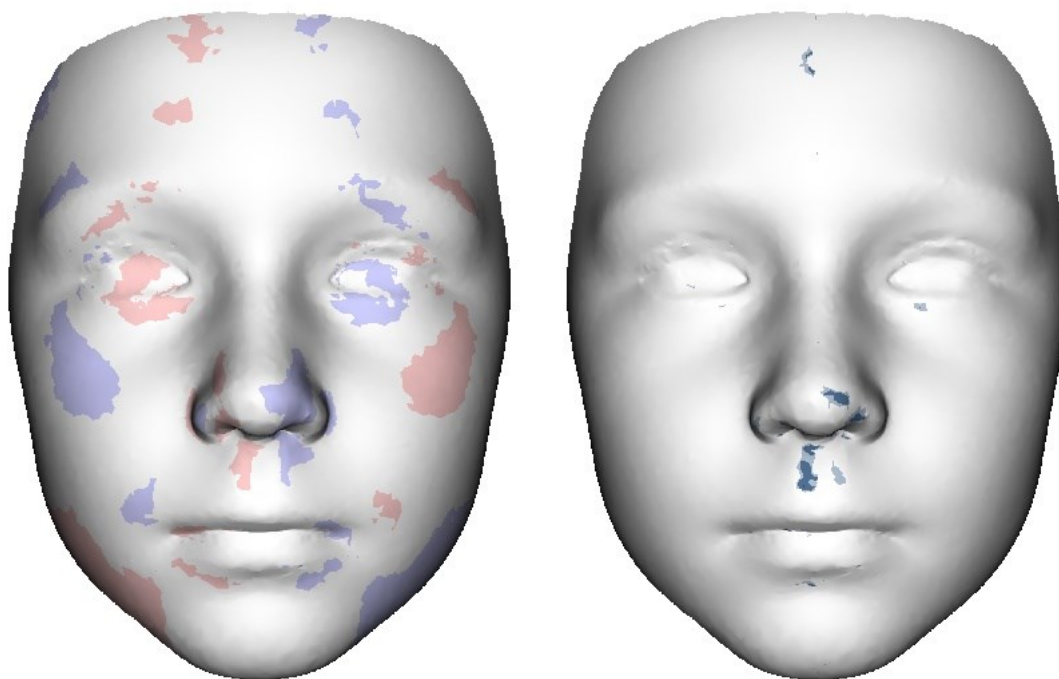
Obr. 22: Porovnání asymetrie obličeje u chlapců v 1. - 4. kategorii, souhrnný přehled.

### 6.3. Hodnocení rozdílu asymetrie mezi dívkami a chlapci v rámci jednotlivých věkových kategorií

V následující kapitole praktické části diplomové práce byly hodnoceny rozdíly obličejové asymetrie mezi dívkami a chlapci v rámci stejné věkové kategorie, a došlo tak k zobrazení rozdílů pohlavního dimorfismu obličejové asymetrie. Na červeno-modrých mapách je protruze u chlapců zobrazena modrou barvou, u dívek naopak červenou.

#### 6.3.1. Vliv pohlavního dimorfismu na asymetrii obličeje v kategorii 3 – 5 let

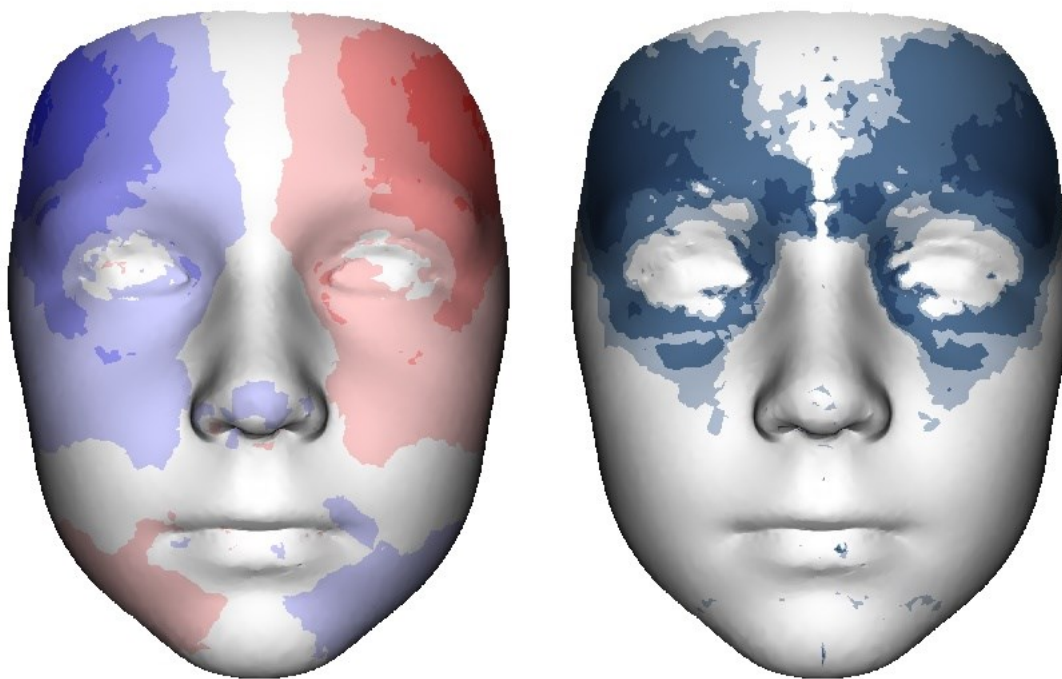
Dle červeno-modré mapy zobrazující rozdíly v asymetrii a mapy signifikance je zřejmé, že se obličejová nesouměrnost u dívek a chlapců ve věku 3 – 5 let téměř neliší. Jediné signifikantní oblasti najdeme na špičce nosu a *philtrum*. Statisticky nevýznamné odlišnosti v asymetrii se nachází v oblasti očí, kde mají chlapci na levé straně oproti dívkám protruzi. Dalším místem jsou tváře v oblasti nad *processus zygomaticus*, u chlapců s protruzí vpravo. Již zmíněný signifikantní *apex nasi* je protruzivní u chlapců, stejně jako přilehlá část *ala nasi sinister*. Velmi mírný rozdíl asymetrie se nachází v laterální oblasti *corpus mandibulae* s protruzí u chlapců na levé polovině obličeje.



Obr. 23: Srovnání asymetrie obličeje u dívek a chlapců v 1. kategorii.

### 6.3.2. Vliv pohlavního dimorfismu na asymetrii obličeje v kategorii 6 – 8 let

V rámci druhé kategorie jsou již patrné výrazně signifikantní oblasti odlišností, a to zejména na čele a v očním okolí. Chlapci mají oproti dívkám protruzivní pravou polovinu čela, nejvíce v jeho laterální části. Pravostranná dominance asymetrie u chlapců pokračuje i v oblasti obočí, horního i dolního očního víčka, vnitřního koutku oka a oblasti tváří pod dolní očním víčkem. Protruze *apex nasi* je opět lehce výraznější u chlapců. Poslední část s odlišnou asymetrií u dívek a chlapců v rámci druhé věkové kategorie je *corpus mandibulae* u chlapců s retruzí na pravé straně obličeje, nicméně tento rozdíl již není statisticky významný.

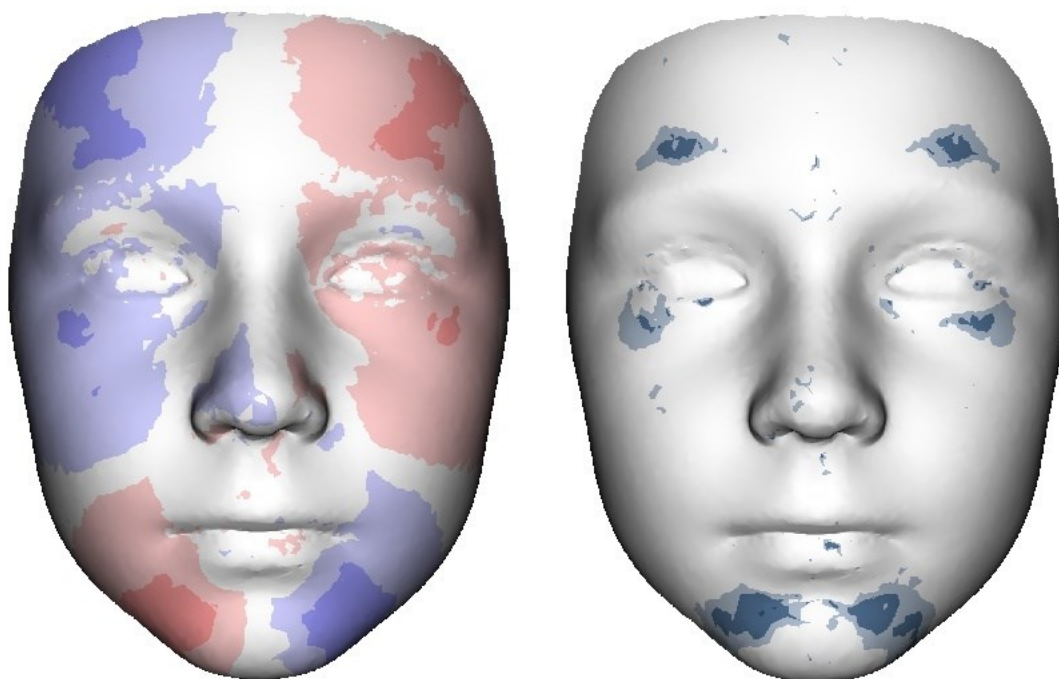


Obr. 24: Srovnání asymetrie obličeje u dívek a chlapců ve 2. kategorii.



### 6.3.3. Vliv pohlavního dimorfismu na asymetrii obličeje v kategorii 9 – 11 let

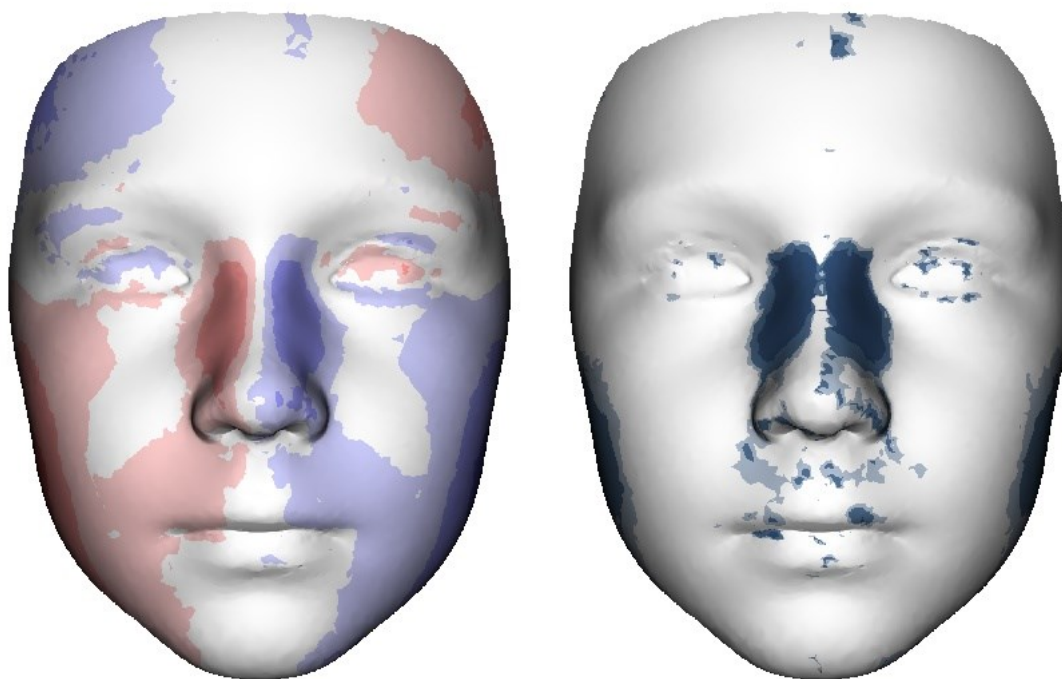
U dětí ve věku 9 – 11 let se již nenachází tak velké signifikantní oblasti s rozdílnou asymetrií mezi dívkami a chlapci, jako tomu bylo u druhé kategorie. V dolní třetině čela v oblasti nad *supercilium* je nicméně malá odlišná část vpravo protruzivní u chlapců. Dalším místem se statisticky významně odlišnou asymetrií je okolí pod vnějším očním koutkem, kde lze opět vidět protruzi u chlapců na pravé straně. Nejvýrazněji odlišně asymetrickou oblastí je v této kategorii brada, která je v laterální části u dívek protruzivní vpravo, zatímco u chlapců vlevo. Celkově mají dívky oproti chlapcům pravou polovinu čela v retruzi, stejně jako oční okolí a horní polovinu tváře, jedná se však o místa převážně nesignifikantní. *Apex nasi* a přilehlá část *dorsum* a *ala nasi* vpravo je v protruzi u chlapců. Ve srovnání s předchozí kategorií vidíme v obličeji stejný směr asymetrií, nicméně změnila se mapa signifikance. U druhé kategorie byla rozdílná místa zejména v horní třetině obličeje, zde naopak v dolní třetině.



Obr. 25: Srovnání asymetrie obličeje u dívek a chlapců ve 3. kategorii.

#### 6.3.4. Vliv pohlavního dimorfismu na asymetrii obličeje v kategorii 12 – 15 let

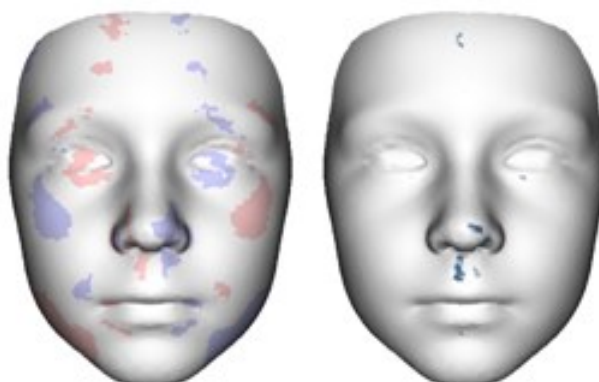
U nejstarších dětí se signifikantně lišící se místa opět přesunula do jiných částí obličeje, než v předchozích kategoriích. Velmi výrazná je zde oblast nosu, a to již od *radix nasi* přes *dorsum nasi* k začátku *alae nasi*. Dále se jedná o laterální oblast tváře v místě *ramus mandibulae* a o celou délku *corpus mandibulae*. Drobné signifikantní úseky se nachází také na *philtrum*, *labium superior* i *inferior*. V oblasti čela mají chlapci opět protruzi na pravé straně obličeje, ovšem již jen v malé části laterálně. Lehce protruzivní je u nich také laterální část pravého obočí. Naopak v oblasti nosu je protruze u chlapců vlevo. Tato asymetrie odpovídá té, která byla pozorována u chlapců ve čtvrté kategorii v kap. 6.1.8., u dívek se tento motiv nevyskytoval. Stejný směr, tedy levostrannou dominanci asymetrie u chlapců vidíme i po celé délce mandibuly s výjimkou brady. *Philtrum* a laterální část *labium superior* je u chlapců protruzivní vlevo, zatímco u dívek vpravo.



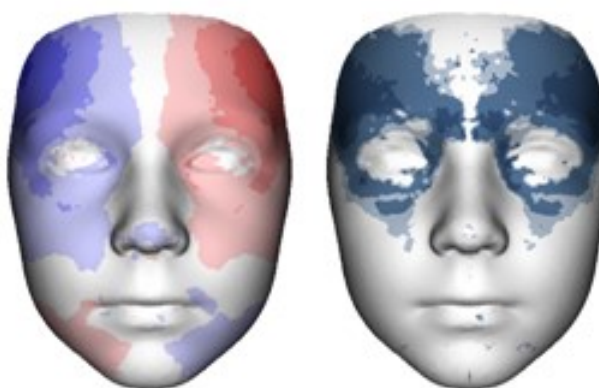
Obr. 26: Srovnání asymetrie obličeje u dívek a chlapců ve 4. kategorii.

## CHLAPCI vs. DÍVKY

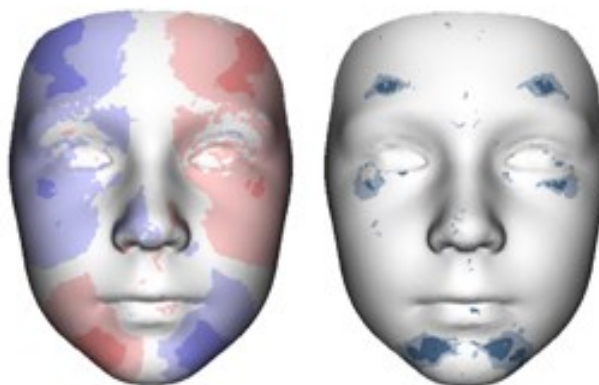
3 – 5 let



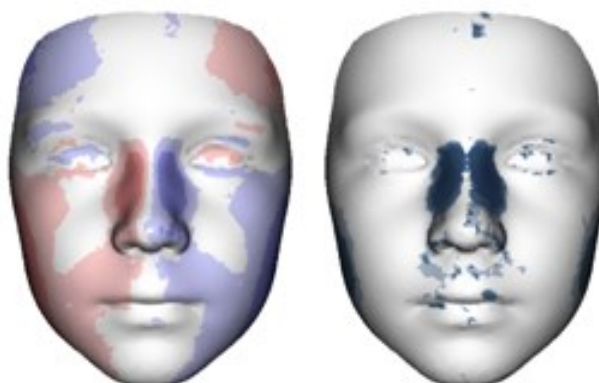
6 – 8 let



9 – 11 let



12 – 15 let



Obr. 27: Srovnání asymetrie obličeje u dívek a chlapců v 1. - 4. kategorii, souhrnný přehled.



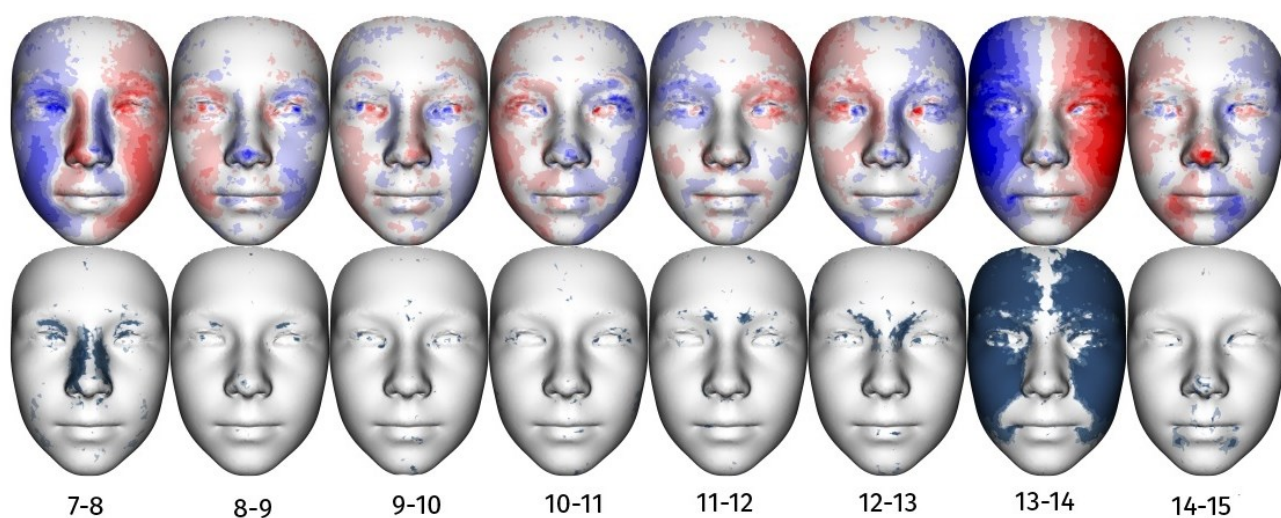
## **6.4. Srovnání výsledků asymetrie z transverzálních dat s výsledky dat longitudinálních**

V poslední části diplomové práce byly porovnány výsledky z dat transverzálních s výsledky z dat longitudinálních. Asymetrii obličeje na longitudinálním souboru dat zpracovává Mgr. Eva Hoffmannová v rámci její disertační práce, a to v ročních věkových intervalech u dětí ve věku od 7 do 17 let zvlášť u dívek a u chlapců. Jelikož transverzální soubor zahrnoval děti pouze do 15 let, byly poslední dvě kategorie z longitudinálního souboru odstraněny. Dále musel být transverzální soubor rozdělen do nových věkových kategorií po ročních intervalech, aby mohlo dojít k relevantnímu hodnocení. Pro zobrazení rozdílu asymetrie mezi dětmi v ročních intervalech (např. mezi 7 a 8letými) byly opět použity červeno-modré mapy, kde červená barva zobrazuje protruzi dané části obličeje u starších, modrá barva naopak u mladších (stejně, jako tomu bylo v celé kapitole 6.2.).

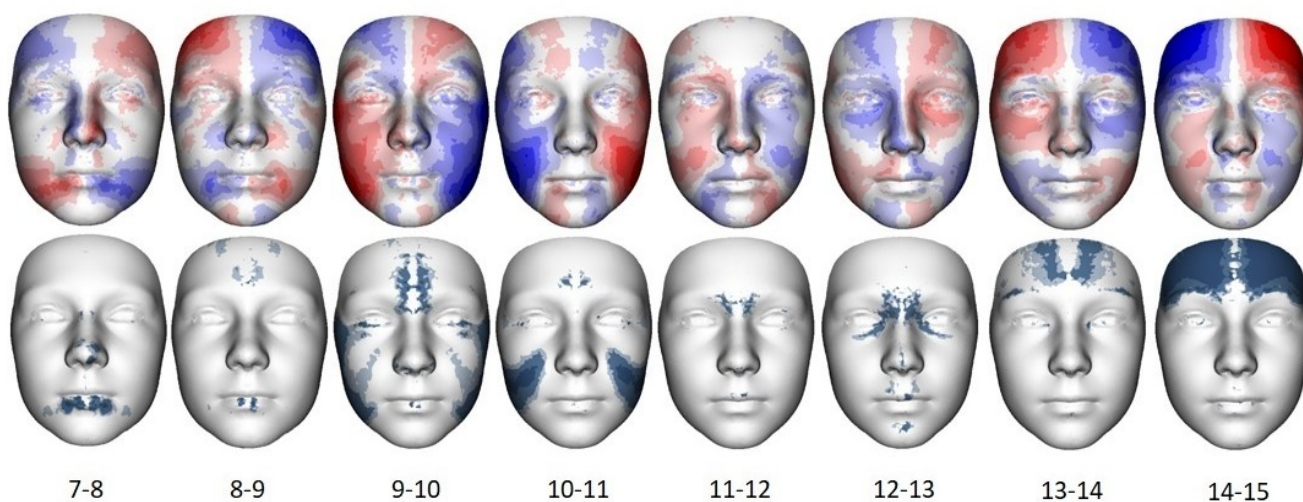
### **6.4.1. Srovnání výsledků asymetrie u dívek**

U dívek jsou naprvní pohled patrné velmi výrazné rozdíly mezi daty longitudinálními a transverzálními a to jak na barevných mapách, tak na mapách signifikancí. V 1. kategorii 7 – 8 let v oblasti čela nacházíme stejný směr asymetrie, tedy protruzi na levé polovině obličeje u starších dívek. Oblast nosu u longitudinálního souboru má signifikantně rozdílnou asymetrii, kde mají starší dívky protruzivní pravou stranu obličeje, zatímco u dat transverzálních je to strana levá. U transverzálního souboru je pak statisticky významná oblast dolního rtu, kde mají 8leté dívky protruzi vpravo, longitudinální soubor má tuto oblast nesignifikantní, nicméně přilehlá část tváře je u stejně starých dívek protruzivní vlevo. V další věkové kategorii jsou u obou souborů rozdíly v asymetrii mezi 8 a 9letými dívkami nesignifikantní, nicméně směr celkové asymetrie je zcela opačný. Zatímco dívky ve věku 9 let z longitudinálních dat mají protruzivní pravou stranu obličeje v oblasti očního okolí a tváří, děvčata téhož věku z transverzálního souboru na pravé straně naopak oblast čela a brady, vlevo pak v přilehlé oblasti tváří okolo koutku úst. Směr obličejové asymetrie v následující věkové kategorii je u obou souborů dat stejný, nicméně transverzální data na rozdíl od longitudinálních vykazují tuto asymetrii výraznější a signifikantní. U 10letých se protruze čela vyskutuje na straně levé, zatímco v oblasti očí, tváří a mandibuly vpravo v porovnání s 9letými dívkami. Čtvrtá věková kategorie vykazuje směr asymetrie mezi soubory úplně opačný. 11leté dívky z transverzálního souboru mají signifikantně protruzivní oblast tváří na

levé polovině obličeje, zatímco u dívek z longitudinálních dat ke statisticky významné změně asymetrie od 10 do 11 let nedošlo a v oblasti tváří nacházíme protruzi u starších dívek vpravo. U další kategorie je v obou případech změna asymetrie téměř nesignifikantní kromě malých mediálních oblastí obočí. Z longitudinálního souboru zde mají mladší dívky v protruzi pravou stranu a naopak levou v případě dat transverzálních. Podobný motiv pokračuje i v další kategorii, u 13letých je u longitudinálního souboru protruze vpravo v horní a střední třetině obličeje a vlevo v oblasti brady a mandibuly. Naproti tomu dívky ve věku 13 let transverzálního souboru mají v horní třetině obličeje směr asymetrie opačný – tedy vpravo retruzivní, ve střední a dolní třetině už je její směr stejný. Předposlední věková kategorie vykazuje u longitudinálních dat velké oblasti signifikance, konkrétně v oblasti čela s výjimkou úzkého mediálního pásu, dále celé obočí a oční okolí, oblast tváří, *ramus* a *corpus mandibulae*. U dívek ve věku 14 let zde nacházíme velmi výraznou protruzi na levé polovině obličeje. Naproti tomu u transverzálního souboru vidíme pouze malé oblasti signifikance ve střední části čela a laterální místanad obočím, které navíc mají 14leté dívky více vpředu vpravo oproti dívkám mladším. Stejný směr asymetrie jako u longitudinálního souboru zde vidíme pouze v oblasti tváří v okolí ústního koutku a na *corpus mandibulae*. V poslední kategorii 14 – 15 let je u longitudinálních dat patrné, že k dalším změnám asymetrie s přibývajícím věkem nedochází s výjimkou lehké protruze *apex nasi* a oblasti pod dolním koutkem úst. Naopak u transverzálního souboru dochází k signifikantní změně asymetrie celého čela, která je u 15letých protruzivní vlevo. Nesouměrnost ve střední a dolní třetině obličeje má pak již stejný směr, jako u dívek z longitudinálních dat.



**Obr. 28: Výsledky obličejové asymetrie u dívek z longitudinálních dat v ročních věkových intervalech (převzato od Mgr. Evy Hoffmannové).**

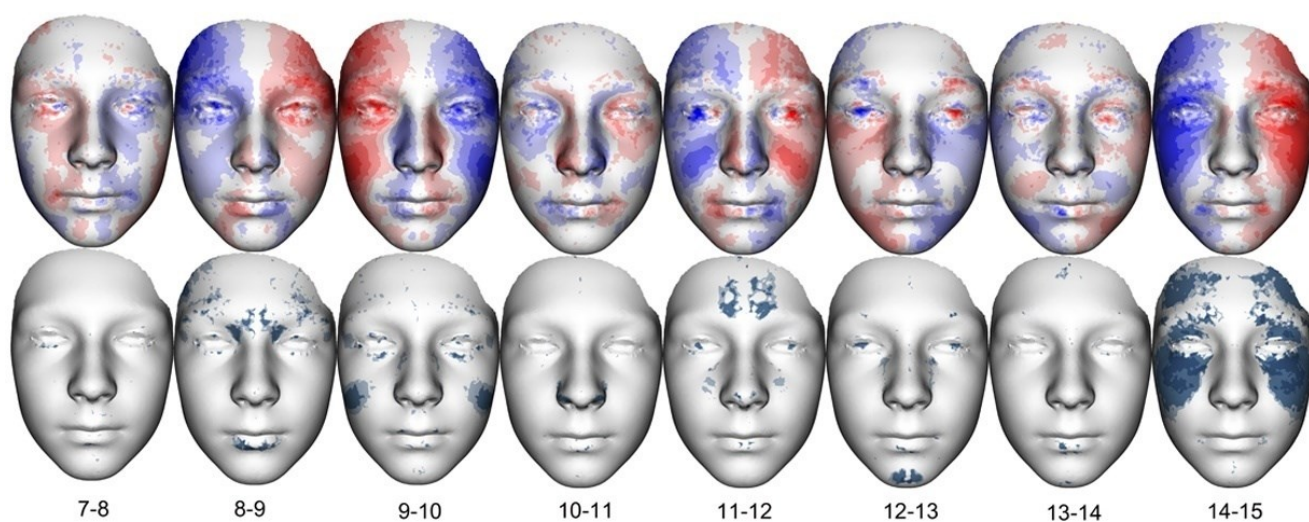


**Obr. 29: Výsledky obličejové asymetrie u dívek z transverzálních dat v ročních věkových intervalech.**

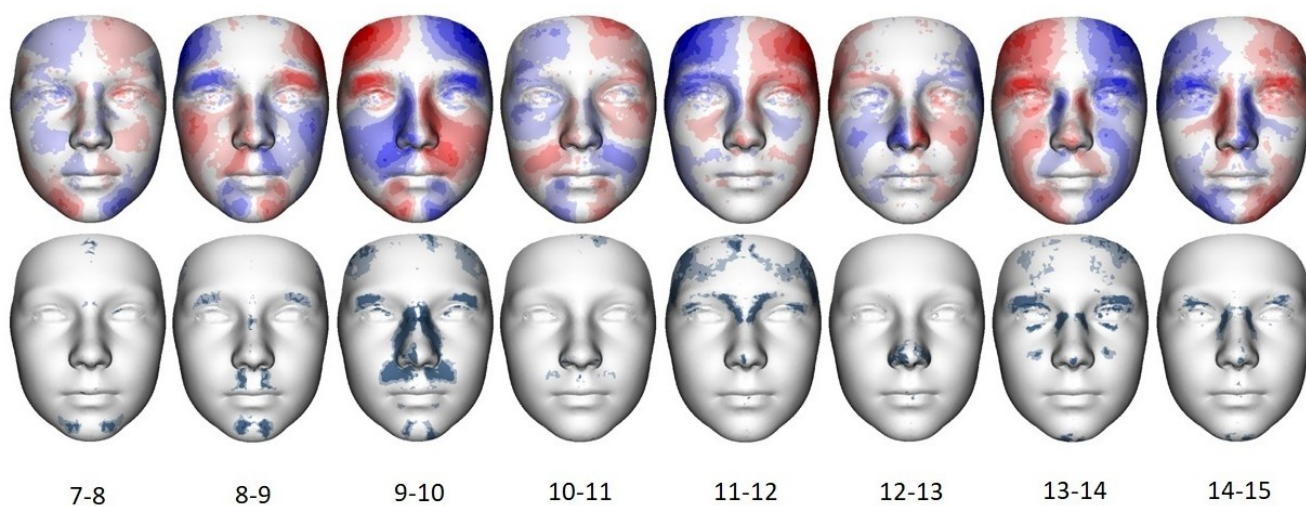
#### 6.4.2. Srovnání výsledků asymetrie u chlapců

Ačkoli jsou u chlapců taktéž patrné rozdíly obličejové asymetrie mezi longitudinálním a transverzálním souborem, jsou v porovnání s dívkami méně výrazné a častěji nacházíme shodu v umístění nesouměrnosti mezi stejnými věkovými kategoriemi. Asymetrie u 7 – 8letých chlapců je v obou souborech téměř nesignifikanční s výjimkou drobné oblasti mandibuly u transverzálních dat, kde mají starší chlapci protruzi vpravo. V oblasti nosu se u nich nachází asymetrie taktéž více vpředu na pravé straně, zbylá část obličeje – oblast čela, očí a tváří je v protruzi naopak vlevo. Naproti tomu 8letí chlapci z longitudinálního souboru mají celkovou obličejovou protruzi vpravo v porovnání s mladšími chlapci. V další věkové kategorii nacházíme shodná místa asymetrie pouze v laterální oblasti čela a celého obočí, kde mají chlapci ve věku 9 let protruzi na levé polovině obličeje. V dalších místech, tedy na tvářích a bradě, je asymetrie opačná. Longitudinální soubor má oblast tváří protruzivní na levé straně a oblast brady vpravo, naopak transverzální data ukazují tváře a přilehlé *philtrum* u starších chlapců více vpředu vpravo, bradu vlevo. Z hlediska signifikance vidíme u longitudinálních dat statisticky významnou mediální oblast čela v okolí *glabelly* a dále dolní ret, u transverzálního souboru je to obočí, laterální okraje *philtrum* a brada. Mezi 9 a 10letými chlapci lze pozorovat výrazné rozdíly asymetrie u obou souborů, kdy mají starší chlapci protruzi na pravé straně v oblasti čela, obočí a brady, vlevo po celé délce nosu a v laterální části horního rtu. Soubory se v této kategorii liší pouze na tvářích, kde longitudinální data u 10letých vykazují protruzi vpravo, zatímco transverzální data vlevo. Odlišnosti najdeme také na mapách signifikance, přičemž u souboru longitudinálního můžeme vidět pouze drobné oblasti uprostřed tváří laterálně, zatímco u dat transverzálních je signifikantní laterální část čela a obočí, superiorní část *dorsum nasi* a oblast pod *nares* zahrnující i část tváří. Naproti tomu v další kategorii 10 – 11 let jsou rozdíly obličejové asymetrie v rámci obou souborů téměř nesignifikanční a shodují se dokonce i ve většině nesouměrností. Na pravé polovině obličeje je u starších chlapců protruzivní oblast nosu a část tváří směřující od *nares* šikmo dolů na mandibulu, vlevo potom oblast čela, očí a očního okolí, laterální části dolního rtu a brada. I v následující věkové kategorii je rozdíl asymetrie mezi 11 a 12letými velmi podobný. U longitudinálního souboru je signifikantní mediální oblast čela, u transverzálních dat je to spíše čelo v laterální části a dále vnitřní okraje obočí až po *radix nasi*. Stejný směr asymetrie nacházíme v oblasti čela, kterou mají starší chlapci protruzivní na levé straně, další oblasti jsou již odlišné. Nos, dolní ret a přilehlá část tváří a mandibuly jsou u 11letých z longitudinálního souboru více vpředu vpravo, zatímco oblast tváří ve střední třetině obličeje

vlevo. U transverzálního souboru je to v těchto místech naopak. Rozdíly obličejové asymetrie u chlapců 12 – 13letých se mezi soubory velmi liší. Statisticky významná oblast u longitudinálních je na bradě, zatímco u transverzálních v oblasti *apex nasi* a *nares*. S výjimkou oblasti očí a obočí převažuje trend protruze u chlapců ve věku 13 let z longitudinálních dat na pravé polovině obličeje. V transverzálním souboru mají stejně staří naopak více vpředu levou stranu, opět kromě oblasti obočí a laterální částí čela, které jsou protruzivní vpravo. V předposlední věkové kategorii nacházíme opět odlišnosti mezi soubory, kde jsou rozdíly asymetrie u longitudinálních dat nesignifikantní, u transverzálních vidíme statisticky významná místa na čele, horním očním víčku, v superiorní části nosu, na špičce nosu a bradě. 14letí chlapci z transverzálního souboru mají protruzi v oblasti čela, obočí, očí, tváří a mandibuly na pravé straně, v oblasti nosu a horního rtu vlevo oproti chlapcům ve věku 13 let. Jak již bylo zmíněno, rozdíly asymetrie u longitudinálního souboru nejsou v této kategorii výrazné, drobné odlišnosti můžeme vidět v laterální části tváří a po celé délce *corpus mandibulae*, kde jsou starší chlapci protruzivní straně na levé. V poslední kategorii 14 – 15 let obsahuje longitudinální soubor nejvíce signifikantní oblasti ze všech kategorií, a to v laterální oblasti čela, očním okolí a laterální části tváří s protruzí u nejstarších chlapců na levé straně. Naproti tomu transverzální data naukázala takto signifikantní rozdíly asymetrie. Nejstarší chlapci mají na levé polovině obličeje protruzi v oblasti čela, očí, očním okolí, brady a *corpus mandibulae*. Vpravo naopak dominují po celé délce nosu a tato oblast asymetrie je u nich také jediným místem signifikantního rozdílu mezi 14 a 15letými.



**Obr. 30: Výsledky obličejové asymetrie u chlapců z longitudinálních dat v ročních věkových intervalech (převzato od Mgr. Evy Hoffmannové).**



**Obr. 31: Výsledky obličejové asymetrie u chlapců z transverzálních dat v ročních věkových intervalech.**



## 7. Diskuze

Cíle této diplomové práce byly - zhodnotit obličejovou asymetrii u dětí v jednotlivých věkových kategoriích (3 – 5 let, 6 – 8 let, 9 – 11 let, 12 – 15 let), sledovat vývojové trendy asymetrie zvlášť u dívek a u chlapců, porovnat rozdíly asymetrií mezi dívkami a chlapci v rámci dané kategorie a porovnat výsledky transversálních dat s výsledky z dat longitudinálních. V návaznosti na cíle práce a s ohledem na dostupnou literaturu pak byly formulovány čtyři hypotézy – I. Pravá polovina obličeje je dominantní u všech dětí bez rozdílu pohlaví, II. Prepubertální děti mají nejvíce asymetrií ve střední třetině obličeje, zatímco starší děti ve spodní třetině, III. Chlapci ve věku 12 – 15 let mají obličejovou asymetrii větší než dívky stejného věku, IV. Výsledky longitudinálních dat se neshodují s výsledky z dat transversálních; longitudinální data lépe zaznamenávají vývojové trendy asymetrie. Dle cílů práce byly výsledky v praktické části rozděleny do čtyř podkapitol.

První podkapitola se zabývala samotným vývojem obličejové asymetrie u dívek a chlapců zvlášť. Výsledky transversální databáze ukázaly statisticky významnou nesouměrnost obličeje ve všech věkových kategoriích. U dívek byla výrazná odlišnost v oblasti čela mezi pravou a levou polovinou v každé kategorii, přičemž zde byl pozorován trend mírného ustupování s přibývajícím věkem a to superiorně a laterálně. Nejmladší dívky měly nejvýraznější asymetrii právě v oblasti čela, tedy v horní třetině obličeje, což je v souladu s dostupnou literaturou (McKinnon et al., 2018). V dalších kategoriích se již objevila asymetrie středního i spodního obličeje. 6 – 8leté dívky měly nesouměrnou oblast tváří v mediální části na úrovni *philtrum* a úst. V další kategorii se asymetrie přesunula inferiorně do dolní třetiny obličeje v mediální oblasti tváří a mandibuly. U nejstarších dívek byla nalezena nesouměrnost tváří a mandibuly oproti předchozí kategorii více laterálně a superiorně, tedy opět ve střední třetině obličeje. U všech kategorií byla zachycena protruze *apex nasi*, kde s přibývajícím věkem docházelo k jejímu zvýraznění. Všechny nalezené asymetrie byly u dívek vždy protruzivní na pravé polovině obličeje.

U chlapců byly taktéž signifikantní oblasti obličejové asymetrie nalezeny ve všech věkových kategoriích, přičemž nejvýraznější celková asymetrie se vyskytovala u 2. kategorie (6 – 8 let). Stejně jako u dívek byla i u chlapců patrná výrazná asymetrie čela v každé z kategorií. U nejmladších se nacházela laterálně, v další kategorii došlo k přesunu směrem mediálním a superiorním, následně již s přibývajícím věkem probíhal stejný trend jako u dívek, tedy celková ustupující tendence a posun superio-laterálně. Také u chlapců docházelo

s přibývajícím věkem ke zvýrazňování protruze *apex nasi*. Zároveň byla v poslední věkové kategorii na rozdíl od předchozích tří nalezena výrazná asymetrie v oblasti hřbetu nosu, kdy levá strana byla více vpředu než strana pravá. Asymetrie v oblasti tváří byla lehce patrná již u nejmladších, následně došlo k jejímu zvýraznění v 6 – 8 letech, a poté se s přibývajícím věkem opět zmírňovala. Nicméně oproti dívkám k jejímu výraznějšímu posunu směrem inferiorním nedošlo. Nesouměrnost v dolní třetině obličeje se u chlapců téměř nevyskytovala s výjimkou oblasti mandibuly v kategorii 6 – 8 let a oblasti brady u 12 – 15letých. Celkový trend asymetrie obličeje u chlapců může být hodnocen jako protruzivní na pravé straně, nicméně oproti dívkám u nich již byla nalezena i místa s protruzí na straně levé, konkrétně oblast mandibuly u druhé kategorie a oblast hřbetu nosu u kategorie čtvrté.

Dle výsledků z první podkapitoly byla první hypotéza přijata. Jak u dívek, tak u chlapců převažovala protruze pravé poloviny obličeje, což je v souladu s dostupnou literaturou (Erkek and Yetkin, 2014; Eligar, 2011). Tento trend může být vysvětlen tím, že většina lidí v populaci jsou praváci a mají tak dominující levou hemisféru, která je zodpovědná za kontrolu pravé poloviny obličeje (Smith, 2000). Dalším možným vysvětlením může být unilaterální typ mastikace, který taktéž převažuje v populaci vpravo (Nissan et al., 2004; Diernberger et al., 2008; Ibrová et al., 2017). Žvýkácké svaly jsou tak na této straně více zatěžovány, a jelikož se významně podílí na formování DA v této oblasti, mohou se měkké tkáně obličeje jevit jako protruzivní z důvodu svalové hypertrofie. Zároveň byla obličejová asymetrie zaznamenána ve všech věkových kategoriích, což je opět ve shodě s literaturou (Russo and Smith, 2011; Primožic et al., 2012).

U dívek i u chlapců bylo ve věkové kategorii 3 – 5 let nalezeno nejvíce asymetrie v horní třetině obličeje, zatímco u starších dětí se výrazná asymetrie objevila i ve střední a spodní třetině. Tento trend zcela odpovídá informacím z dostupné literatury (McKinnon et al., 2018; Ferrario et al., 1995; Primožic et al., 2012; Taylor et al., 2014). Nicméně ani u dívek ani u chlapců nebylo v této práci nalezeno nejvíce asymetrie ve střední třetině u prepubertálních a ve spodní třetině u pubertálních dětí. Nepotvrdil se tak předpoklad z dostupné literatury (Primožic et al., 2012; Primožic et al., 2017; Djordjevic et al., 2013), proto byla druhá hypotéza zamítnuta. Dle studie Šlaj et al. (2003) byla u dětí od 8 do 14 let bez rozdílu pohlaví zjištěna asymetrie maxilly a mandibuly, kdy zatímco maxilla byla dominantní na levé straně, mandibula naopak vpravo. Výsledky této diplomové práce asymetrii maxilly s protruzivní levou stranou nepotvrdily ani u dívek, ani u chlapců. Naproti tomu, dívky ve věku 9 – 11 let a 12 – 15 let měly směr asymetrie mandibuly stejný, jako ve výše uvedené studii. U chlapců



však mandibula výraznější známky asymetrie vykazovala pouze ve věkové kategorii 6 – 8 let, a to navíc s protruzí na straně levé. Kau and Richmond (2008) došli ve své studii k závěru, že u 12 – 14 letých dětí dochází ke zvýraznění protruze nosu, což je v souladu s výsledky této diplomové práce.

Druhá podkapitola se věnovala hodnocení rozdílu asymetrie mezi jednotlivými po sobě jdoucími kategoriemi zvláště u dívek a zvláště u chlapců, které byly pro lepší přehlednost znázorněny pomocí červeno-modrých map. Červená barva zde představovala protruzivní oblasti u dětí ze starší kategorie v porovnání s mladšími, modře byla naopak místa více vpředu u mladší ze dvou srovnávaných kategorií. U dívek bylo z map signifikancí patrné, že k výrazným změnám v směrové asymetrii u dívek s přibývajícím věkem nedocházelo, což odpovídá údajům z dostupné literatury (Primozic et al., 2012). Jediná statisticky významná změna nastala mezi 6 – 8letými a 9 – 11letými dívkami v oblasti mandibuly, která byla u starších v protruzi na pravé straně. Při porovnání následujících dvou kategorií bylo patrné, že se asymetrie v této oblasti opět lehce vyrovnala a zmírnila, tedy u dívek 12 – 15letých byla v porovnání s 9 – 11letými lehká protruze na straně levé. Nicméně tento rozdíl již nebyl signifikantní a lze tedy říci, že u dívek nadále přetrvává mírná protruze oblasti *corpus mandibulae* na pravé polovině obličeje. Stejný trend byl nalezen i ve studii Ibrové et al. (2017) na asymetrii mandibuly dospělých jedinců. Pravostranná dominance mandibuly je zde vysvětlena preferencí pravé strany při žvýkání a kompenzačním a adaptačním mechanismem při vzniku DA v oblasti mandibuly v důsledku DA horní třetiny obličeje.

Celkově se tedy u dívek obličejová asymetrie s věkem téměř neměnila a můžeme potvrdit trend pravostranné dominance obličeje zejména v oblasti čela a u starších dívek i v oblasti mandibuly, který byl zřejmý při hodnocení asymetrie v podkapitole 6.1.

Chlapci oproti dívkám zaznamenali s přibývajícím věkem výraznější změny obličejové asymetrie, a to zejména mezi 1. a 2. kategorií a 3. a 4. kategorií. Naopak při srovnání 2. a 3. věkové kategorie, tedy chlapců 6 – 8letých s 9 – 11letými, se statisticky významné rozdíly neobjevily. Celkově se však u chlapců oproti dívkám nepotvrdil očekávaný trend minimálních změn asymetrie s věkem předpokládaný dle literatury (Primozic et al., 2012). Signifikantní rozdíl asymetrie byl patrný v laterální oblasti čela, očního okolí a oblasti podél celé délky nosu mezi chlapci 1. a 2. kategorie, kde se u starších vyskytovala protruze na pravé straně obličeje. Tento rozdíl odpovídá výrazné pravostranné protruzi u 6 – 8letých chlapců zaznamenané v podkapitole 6.1.6. při hodnocení nesouměrností v každé kategorii zvláště.

Další, nesignifikantní odlišností mezi těmito dvěma věkovými skupinami byla oblast mandibuly, vpravo protruzivní u chlapců mladších. Trend výrazné protruze pravé strany obličeje přetrvával i v následující kategorii 9 – 11 let, neboť rozdíly v obličejové asymetrii mezi 2. a 3. kategorií byly převážně nesignifikantní. Naproti tomu u nejstarších chlapců došlo k opět velmi výrazné změně nesouměrnosti, protruze čela, hřbetu nosu, laterální oblasti tváří a *ramus mandibulae* se přesunula oproti 9 – 11letým na levou stranu obličeje. Zřejmě tak v tomto věkovém rozmezí 12 – 15 let, které je u chlapců typickým obdobím pubertálním, dochází ke zmírnění a vyrovnaní výrazné pravostranné protruze obličeje. I u chlapců se tedy vyskytla asymetrie v oblasti mandibuly, což podporuje tvrzení relativně častého výskytu asymetrie v této oblasti v populaci (Ramirez-Yañez et al., 2011).

Třetí podkapitola byla věnována sledování rozdílu asymetrie mezi dívkami a chlapci, a to vždy v rámci stejné věkové kategorie. Červeno-modré mapy byly tentokrát využity k zobrazení těch oblastí obličeje, které byly více vpředu u chlapců v porovnání s dívkami barvou modrou, naopak pro zobrazení protruze u dívek byla zvolena barva červená. V první věkové kategorii 3 – 5 let bylo z mapy signifikance zřejmé, že k rozdílu v obličejové asymetrii mezi pohlavími nedochází. Toto zjištění však není v souladu s prostudovanou literaturou, která udává přítomnost znaků pohlavního dimorfismu obličeje již u nejmenších dětí (Matthews et al., 2016; Bulygina et al., 2006; Kesterke et al., 2016). V následující kategorii 6 – 8 let však již mapa signifikance značí výrazný rozdíl v oblasti čela a očního okolí, které je v protruzi u chlapců v porovnání s dívkami vpravo. Potvrzuje to tedy velmi výraznou prominenci pravé poloviny obličeje u chlapců právě v této věkové kategorii, nicméně oblast tváří, kde se protruze taktéž vyskytovala, již na mapě srovnání rozdílů asymetrie není statisticky významná, neboť k ní došlo i u dívek. Další věkové kategorii 9 – 11 let byl nalezen rozdíl nesouměrnosti v oblasti brady a mandibuly, která v tomto věku vyskytovala pouze u dívek a koreluje tedy s barevnou mapou podkapitoly 6.1.3. Dívky zde mají oproti chlapcům více vpředu pravou polovinu obličeje. Nepotvrdil se tak trend nalezené asymetrie dle Šlaj et al., (2003) u všech dětí bez rozdílu pohlaví. Mírný rozdíl byl pozorován i v laterální oblasti čela a tváří, kde pravá strana byla lehce v protruzi u chlapců, a levá tedy naopak u dívek. Mapa signifikance u 12 – 15letých dětí zobrazuje rozdíl asymetrie v oblasti *dorsum nasi* a *ramus mandibulae*. Oblast nosu mají chlapci v porovnání s dívkami protruzivní vlevo, což přesně odpovídá barevné mapě jejich obličejové asymetrie z podkapitoly 6.1.8., dívky měly v tomto věkovém rozmezí oblast hřbetu nosu téměř symetrickou. U rozdílu asymetrie v oblasti *ramus mandibulae* je to naopak. Zatímco u chlapců byla na barevné mapě

souměrná, dívky vykazovaly silnou protruzi na pravé polovině obličeje vůči polovině levé, což koreluje s rozdílem asymetrie mezi dívkami a chlapci na mapě červeno-modré. S výjimkou oblasti horní třetiny obličeje ve 2. věkové kategorii a oblasti nosu a ramene mandibuly v kategorii 4. však výraznější rozdíly obličejové asymetrie mezi pohlavími nalezeny nebyly. U obou převážně dominovala nesouměrnost čela, dále protruze *apex nasi* v každé věkové kategorii a trend převažující protruze na pravé straně obličeje.

Z výše uvedeného vyplývá, že výrazný rozdíl asymetrie celého obličeje mezi 12 – 15letými dívkami a chlapci s výjimkou oblasti nosu nebyl přítomen, což je v rozporu s dostupnou literaturou (Djordjevic et al., 2014; Kau and Richmond, 2008). Chlapci tak dle výsledků diplomové práce v tomto věku tedy nemají obličejovou asymetrii větší než stejně staré dívky, a proto byla třetí hypotéza zamítnuta.

Poslední podkapitola byla věnována porovnání výsledků direkcionální asymetrie obličeje u dívek a u chlapců ve věku od 7 do 15 let z dat longitudinálních, které zpracovala Mgr. Eva Hoffmannová, s výsledky z dat transverzálních, která byla předmětem hodnocení v této diplomové práci.

U dívek se asymetrie mezi oběma soubory převážně odlišovala a mapy signifikance také byly, až na drobné výjimky, rozdílné. U longitudinálního souboru došlo k výrazné změně asymetrie ve věku 13 – 14 let, kdy u starších dívek převládala protruze na levé straně téměř celého obličeje. Transverzální soubor měl v této kategorii signifikantně odlišnou asymetrii pouze v oblasti čela, kde navíc měly 14leté protruzivní stranu pravou. Trend výrazné změny obličejové asymetrie mezi 13 a 14letými dívkami z longitudinálních dat tak nebyl souborem transverzálním potvrzen. Další výraznějším rozdílem asymetrie u longitudinálního souboru byla oblast hřbetu nosu mezi 7. – 8. rokem, kde měly starší dívky více vpředu stranu pravou. U dívek stejného věku z transverzálního souboru byl trend opět zcela opačný, starší tedy měly protruzivní část hřbetu nosu vlevo, nicméně u nich tento rozdíl nebyl statisticky významný. Z transverzálních dat však byla u 9 – 10letých dívek signifikantně rozdílná oblast mandibuly a mediální část čela lemující sagitální rovinu, kde 10leté měly v horní třetině obličeje v protruzi levou polovinu a ve střední a dolní třetině pravou polovinu obličeje. Ačkoli longitudinální soubor neměl oproti transverzálnímu v této věkové kategorii statisticky významně odlišnou asymetrii, byl směr protruze 10letých stejný. V následující věkové kategorii byla poté u dívek transverzálního souboru signifikantní opět oblast mandibuly a tváří, 10leté dívky měly oproti 11letým opět protruzivní pravou stranu obličeje, což může značit buď náhlý posun této oblasti

dopředu kolem 10. roku života, který je však následně v dalším roce velmi rychle vyrovnán, nebo výjimečně shodný motiv asymetrie u všech či pouze některých z 26 nasnímaných dívek této kategorie. V longitudinálním souboru se tento trend vůbec neobjevil, proto byl považován spíše za náhodu vzniklou zřejmě v důsledkuměněšího počtu nasnímaných jedinců tohoto věku. Posledním signifikantním místem, které se objevilo pouze u dat transversálních, byla oblast čela v poslední kategorii, kde měly 15leté protruzivní levou část oproti dívkám 14letým. V tomto případě zřejmě opět došlo k vyrovnání nápadnější protruze čela 14letých na pravé straně, která byla patrná v předchozí kategorii. Při porovnání obou souborů bylo více shod ve směru asymetrie (tj. protruze pravé nebo levé poloviny obličeje u starších versus mladších) nalezeno v mladším věku, tedy v rozmezí 7 – 10 let, poté již měly soubory směr asymetrie převážně opačný.

U chlapců bylo z map signifikace patrné, že k výrazným změnám asymetrie s přibývajícím věkem nedocházelo. V longitudinálním souboru byla nejnápadnější změna zachycena v kategorii 14 – 15 let, u souboru transversálního v 9 – 10 letech. Zatímco u dívek v ročních intervalech se rozdíly asymetrie obou souborů více podobaly v mladších věkových kategoriích, tedy zhruba od 7 do 10 let, a následně u starších byl již trend odlišný, u nejmladších chlapců lze sledovat nejprve směr opačný a k podobnému trendu obličejové nesouměrnosti mezi soubory došlo až okolo 9 let, přičemž tato podobnost trvala do 12 let věku. Z výše uvedeného vyplývá, že podobný směr obličejové asymetrie se u chlapců ve srovnání s dívkami vyskytuje o zhruba 2 roky později, nicméně délka trvání tohoto období je u obou pohlaví stejná, tedy přibližně 4 roky. U chlapců ze souboru longitudinálního s výjimkou jedné kategorie docházelo ke střídání protruze pravé a levé poloviny obličeje vždy v následujícím roce, tedy např. 8letí měli více vpředu pravou stranu, zatímco 9letí levou. Jelikož jejich mapy signifikance kromě poslední věkové kategorie nezahrnovaly rozsáhlejší statisticky významná místa, lze usuzovat, že obličejové struktury mají tendenci vyrovnávat nesouměrnost obličeje. To však zcela neplatilo pro soubor transversální. Zde se navíc protruze neobjevovala pouze v rámci celé poloviny obličeje, ale velmi často byla na opačné straně v jednotlivých třetinách obličeje. Tento trend byl nejvýraznější v kategorii 9 - 10 let, kdy starší chlapci měli oblast čela a brady více vpředu na straně pravé, zatímco nos a tváře vlevo.

Celkově lze tedy hodnotit obličejovou asymetrii mezi longitudinálním a transversálním souborem jako odlišnou jak u dívek, tak u chlapců, což je ve shodě s literaturou (Rothman and Greenland, 1998; Hedeker and Gibbons, 2006; Markovitz et al., 2012). Došlo tedy k potvrzení

čtvrté hypotézy, podle které bylo očekáváno, že se soubory budou lišit. Zároveň však také poslední hypotéza předpokládala lepší zaznamenání vývojových trendů asymetrie u souboru longitudinálního ve srovnání s transverzálním (Hedeker and Gibbons, 2006). Tato část hypotézy nebyla potvrzena. Ani u dívek ani u chlapců nebylo patrné, že by nesouměrnost longitudinálních dat byla na červeno-modrých mapách znázorněna barvami s nižší intenzitou, nebo že by mapy signifikance obsahovaly méně modrých míst. Naopak se u dívek v kategorii 13 – 14 let a u chlapců mezi 14 – 15 lety vyskytovala mapa signifikance s nejvýraznějšími místy statisticky významného rozdílu asymetrie ze všech kategorií v rámci longitudinálního i transverzálního souboru. Náznak tohoto trendu u souboru longitudinálního koreluje s citovanou literaturou v teoretické části diplomové práce, kdy ve studii Kau and Richmond (2008) byl nalezen rozdíl v načasování povrchových změn mezi dívkami a chlapci. U chlapců k nim dle zmíněné studie dochází později, což souhlasí s trendem asymetrie v kategorii 13 – 14 let u dívek a 14 – 15 let u chlapců. Transverzální data nicméně tuto tendenci nevykazovala.

## 8. Závěr

Diplomová práce se zabývala hodnocením obličejové asymetrie u dětí od 3 do 15 let s využitím transversální databáze 3D virtuálních modelů obličeje. Cílem práce bylo popsat obličejovou asymetrii, sledovat vývojové trendy, zhodnotit rozdíly mezi dívkami a chlapci a porovnat výsledky s již zpracovanými výstupy z longitudinální databáze. V úvodu byly stanoveny čtyři hypotézy:

**I. Pravá polovina obličeje je dominantní u všech dětí bez rozdílu pohlaví.**

Tato hypotéza byla potvrzena. U dívek i u chlapců ve všech věkových kategoriích převažovala protruze pravé poloviny obličeje. Jedinou výjimku tvořila kategorie 12 – 15 let u chlapců, kteří zde měli výraznou protruzi levé poloviny nosu. I přesto však v této skupině dominovala v rámci celého obličeje protruze na pravé straně.

**II. Prepubertální děti mají nejvíce asymetrií ve střední třetině obličeje, zatímco starší děti ve spodní třetině.**

Tato hypotéza byla zamítnuta. Výsledky transversálních dat nepotvrdily nejvyšší výskyt obličejové asymetrie u dětí v prepubertě ve střední třetině obličeje a u dětí v pubertě ve spodní třetině.

**III. Chlapci ve věku 12 – 15 let mají obličejovou asymetrii větší než dívky stejného věku.**

Tato hypotéza byla zamítnuta. Při porovnávání rozdílů asymetrie mezi dívkami a chlapci byla v této věkové skupině nalezena odlišnost pouze v oblasti nosu. Zbývající část obličeje byla v rámci obličejové asymetrie téměř ve shodě.

**IV. Výsledky asymetrie obličeje získané na základě longitudinálních dat se neshodují s výsledky z dat transversálních; longitudinální data lépe zaznamenávají vývojové trendy asymetrie.**

První část této hypotézy byla potvrzena, druhá část naopak zamítnuta. Neshoda výsledků longitudinální a transversální databáze očekávaná v první části hypotézy byla nalezena ve většině věkových kategorií u dívek i chlapců. Soubory se v obličejové asymetrii shodovaly pouze mezi 7 – 10 lety u dívek a 9 – 12 lety u chlapců. Longitudinální data nevykazovala menší rozdíly asymetrie mezi jedinci

v po sobě jdoucích ročních intervalech ve srovnání s daty transversálními. Naopak byl ve věkové kategorii 13 – 14 let u dívek a 14 – 15 let u chlapců zaznamenán výrazný rozdíl asymetrie, který se však u dat transversálních nevyskytoval. Z tohoto důvodu tedy byla druhá část hypotézy předpokládající lepší zaznamenání vývojových trendů asymetrie u dat longitudinálních zamítnuta.

## 9. Seznam použité literatury

Akhil, G., Kumar, K. P. S., Raja, S., Janardhanan, K. 2015. Three-dimensional assessment of facial asymmetry: A systematic review. *Journal of pharmacy & bioallied sciences* 7(Supplement 2): S433-S437.

Aljuhanay, A., Milne, E., Burt, D. M., Pascalis, O. 2010. Asymmetry in face processing during childhood measured with chimeric faces. *Laterality* 15(4): 439-450.

Arteaga, C. and Poblano, A. 2008. Handedness of children determines preferential facial and eye movements related to hemispheric specialization. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* 66(3a): 488-493.

Bigoni, L., Krajíček, V., Sládek, V., Velemínský, P., Velemínská, J. 2013. Skull shape asymmetry and the socioeconomic structure of an early medieval central European society. *American Journal of Physical Anthropology* 150(3): 349-364.

Bishara, S. E., Burkey, P. S., Kharouf, J. G. 1994. Dental and facial asymmetries: a review. *The Angle Orthodontist* 64(2): 89-98.

Bookstein, F. L. 1997. Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape. *Medical Image Analysis* 1(3): 225-243.

Bruneteau, R. J., Mulliken, J. B. 1992. Frontal plagiocephaly: synostotic, compensational, or deformational. *Plastic and reconstructive surgery* 89(1): 21-31.

Bulygina, E., Mitteroecker, P., Aiello, L. 2006. Ontogeny of facial dimorphism and patterns of individual development within one human population. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists* 131(3): 432-443.

Burstein, B., Bank, L., Jarvik, L. F. 1980. Sex differences in cognitive functioning: Evidence, determinants, implications. *Human Development* 23(5): 289-313.

Cohen Jr, M. M. 1995. Perspectives on craniofacial asymmetry. III. Common and/or well-known causes of asymmetry. *International journal of oral and maxillofacial surgery* 24(2): 127-133.

Di Angelo, L., Di Stefano, P. 2013. Bilateral symmetry estimation of human face. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* 7(4): 217-225.

Diernberger, S., Bernhardt, O., Schwahn, C., Kordass, B. 2008. Self-reported chewing side preference and its associations with occlusal, temporomandibular and prosthodontic factors:



results from the population-based Study of Health in Pomerania (SHIP-0). *Journal of oral rehabilitation* 35(8): 613-620.

Ditthakasem, K., Kolar, J. C. 2017. Deformational plagiocephaly: a review. *Pediatric nursing* 43 (2): 59-64 .

Djordjevic, J., Pirttiniemi, P., Harila, V., Heikkinen, T., Toma, A. M., Zhurov, A. I., Richmond, S. 2011. Three-dimensional longitudinal assessment of facial symmetry in adolescents. *The European Journal of Orthodontics* 35(2): 143-151.

Djordjevic, J., Jadallah, M., Zhurov, A. I., Toma, A. M., Richmond, S. 2013. Three-dimensional analysis of facial shape and symmetry in twins using laser surface scanning. *Orthodontics & craniofacial research* 16(3): 146-160.

Djordjevic, J., Toma, A. M., Zhurov, A. I., Richmond, S. 2014. Three-dimensional quantification of facial symmetry in adolescents using laser surface scanning. *The European Journal of Orthodontics* 36(2): 125-132.

Dupej J., Krajiček V., Velemínská J., Pelikán J. 2013. Analysis of asymmetry in triangular meshes. *Proceedings of the 33rd Conference on geometry and graphics, Geometry and Graphics 2013*: 65 – 78.

Dykiert, D., Bates, T. C., Gow, A. J., Penke, L., Starr, J. M., Deary, I. J. 2012. Predicting mortality from human faces. *Psychosomatic Medicine* 74(6): 560-566.

Eligar, R. C. 2011. Study of handedness and facial asymmetry in teenagers. *International journal of applied biology and pharmaceutical technology* 2(1): 358-362.

Enlow, D. H. 1966. A morphogenetic analysis of facial growth. *American journal of orthodontics* 52(4): 283-299.

Erkec, O. E., Yetkin, Y. 2014. Anatomic, functional and cognitive asymmetries in monozygotic twins with discordant handedness. *Eastern Journal of Medicine* 19(4): 185-190.

Ferrario, V. F., Sforza, C., Miani Jr, A., Serrao, G. 1995. A three-dimensional evaluation of human facial asymmetry. *Journal of anatomy* 186: 103-110.

Ferrario, V. F., Sforza, C., Serrao, G., Ciusa, V., Dellavia, C. 2003. Growth and aging of facial soft tissues: a computerized three-dimensional mesh diagram analysis. *Clinical Anatomy: The Official Journal of the American Association of Clinical Anatomists and the British Association of Clinical Anatomists* 16(5): 420-433.

Graham, J., Özener, B. 2016. Fluctuating asymmetry of human populations: a review. *Symmetry* 154(8.12): 1-36.

Grammer, K. and Thornhill, R. 1994. Human (*Homo sapiens*) facial attractiveness and sexual selection: the role of symmetry and averageness. *Journal of comparative psychology* 108(3): 233-242.

Grimm, K. J., Davoudzadeh, P., Ram, N. 2017. IV. Developments in the analysis of longitudinal data. *Monographs of the Society for Research in Child Development* 82(2): 46-66.

Hajeer, M. Y., Ayoub, A. F., Millett, D. T. 2004. Three-dimensional assessment of facial soft-tissue asymmetry before and after orthognathic surgery. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 42(5): 396-404.

Hardie, S., Hancock, P., Rodway, P., Penton-Voak, I., Carson, D., Wright, L. 2005. The enigma of facial asymmetry: Is there a gender-specific pattern of facedness? *Laterality: Asymmetries of body, brain and cognition* 10(4): 295-304.

Hedeker, D., Gibbons, R. D. 2006. *Longitudinal data analysis*, Vol. 451. John Wiley & Sons.

Hope, D., Bates, T., Penke, L., Gow, A. J., Starr, J. M., Deary, I. J. 2013. Symmetry of the face in old age reflects childhood social status. *Economics & Human Biology* 11(2): 236-244.

Huang, C. S., Liu, X. Q., Chen, Y. R. 2013. Facial asymmetry index in normal young adults. *Orthodontics & craniofacial research* 16(2): 97-104.

Hunt, O. T., Johnston, C. D., Hepper, P. G., Burden, D. J. 2001. The psychosocial impact of orthognathic surgery: a systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 120(5): 490-496.

Hwang, H. S., Yuan, D., Jeong, K. H., Uhm, G. S., Cho, J. H., Yoon, S. J. 2012. Three-dimensional soft tissue analysis for the evaluation of facial asymmetry in normal occlusion individuals. *The Korean Journal of Orthodontics* 42(2): 56-63.

Cheong, Y. W., Lo, L. J. 2011. Facial asymmetry: etiology, evaluation, and management. *Chang Gung Medical Journal* 34(4): 341-351.

Choi, K. Y. 2015. Analysis of facial asymmetry. *Archives of Craniofacial Surgery* 16(1): 1-10.

Choi, W. S., Lee, S., McGrath, C., Samman, N. 2010. Change in quality of life after combined orthodontic-surgical treatment of dentofacial deformities. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 109(1): 46-51.

- Ibrov, A., Dupej, J., Strnsk, P., Velemnsk, P., Polček, L., Velemnsk, J. 2017. Facial skeleton asymmetry and its relationship to mastication in the Early Medieval period (Great Moravian Empire, Mikulčice, 9th–10th century). *Archives of oral biology* 84: 64-73.
- Kaipainen, A. E., Sieber, K. R., Nada, R. M., Maal, T. J., Katsaros, C., Fudalej, P. S. 2015. Regional facial asymmetries and attractiveness of the face. *European journal of orthodontics* 38(6): 602-608.
- Kau, C. H., Richmond, S. 2008. Three-dimensional analysis of facial morphology surface changes in untreated children from 12 to 14 years of age. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 134(6): 751-760.
- Keles, P., Dyarbakirli, S., Tan, M., Tan, . 1997 Facial asymmetry in right- and left-handed men and women. *International Journal of Neuroscience* 91(3-4): 147-159.
- Kesterke, M. J., Raffensperger, Z. D., Heike, C. L., Cunningham, M. L., Hecht, J. T., Kau, C. H., Nidey, N. L., Moreno, L. M., Wehby, G. L., Marazita, M. L., Weinberg, S. M. 2016. Using the 3D Facial Norms Database to investigate craniofacial sexual dimorphism in healthy children, adolescents, and adults. *Biology of Sex Differences* 7(1): 1-14.
- Klingenberg, C. P., Wetherill, L., Rogers, J., Moore, E., Ward, R., Autti-Rm, I., Mattson, S. N. 2010. Prenatal alcohol exposure alters the patterns of facial asymmetry. *Alcohol* 44(7): 649-657.
- Klingenberg, C. P. 2015. Analyzing fluctuating asymmetry with geometric morphometrics: concepts, methods, and applications. *Symmetry* 7(2): 843-934.
- Kirchengast, S. 2017. Directional and fluctuating asymmetry among !Kung San and Kavango people of Northern Namibia: The impact of sex and subsistence patterns. *American journal of human biology* 29(2): e22921.
- Koudelová, J., Bržek, J., Cagnov, V., Krajíček, V., Velemnsk, J. 2015. Development of facial sexual dimorphism in children between 12 to 15 years: three-dimensional longitudinal study. *Orthodontics & Craniofacial Research* 18: 175–84.
- Kowner, R. 1997. The perception and attribution of facial asymmetry in normal adults. *The Psychological Record* 47(3): 371-384.
- Krajíček, V., Dupej, J., Velemnsk, J., Pelikn, J. 2012. Morphometric analysis of mesh asymmetry. *Journal of WSCG* 20(1):65–67.
- Kurabe, K., Kojima, T., Kato, Y., Saito, I., Kobayashi, T. 2016. Impact of orthognathic surgery on oral health-related quality of life in patients with jaw deformities. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 45(12): 1513-1519.

- Kwon, T. G., Park, H. S., Ryoo, H. M., Lee, S. H. 2006. A comparison of craniofacial morphology in patients with and without facial asymmetry — a three-dimensional analysis with computed tomography. *International journal of oral and maxillofacial Surgery* 35(1): 43-48.
- Leamy, L. J., Klingenberg, C. P. 2005. The genetics and evolution of fluctuating asymmetry. *Annual review of ecology, evolution, and systematics* 36: 1-21.
- Lee, M. S., Chung, D. H., Lee, J. W., Cha, K. S. 2010. Assessing soft-tissue characteristics of facial asymmetry with photographs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 138(1): 23-31.
- Levin, M., Palmer, A. R. 2007. Left-right patterning from the inside out: widespread evidence for intracellular control. *BioEssays: news and reviews in molecular, cellular and developmental biology* 29(3): 271-87.
- Linden, O. E., He, J. K., Morrison, C. S., Sullivan, S. R., Taylor, H. O. 2018. The relationship between age and facial asymmetry. *Plastic and reconstructive surgery* 142(5): 1145-1152.
- Liukkonen, M., Sillanmäki, L., Peltomäki, T. 2005. Mandibular asymmetry in healthy children. *Acta Odontologica Scandinavica* 63(3): 168-172.
- Lust, J. M., Geuze, R. H., Van de Beek, C., Cohen-Kettenis, P. T., Bouma, A., Groothuis, T. G. 2011. Differential effects of prenatal testosterone on lateralization of handedness and language. *Neuropsychology* 25(5): 581-589.
- Markovitz, A. R., Goldstick, J. E., Levy, K., Cevallos, W., Mukherjee, B., Trostle, J. A., Eisenberg, J. N. 2012. Where science meets policy: comparing longitudinal and cross-sectional designs to address diarrhoeal disease burden in the developing world. *International journal of epidemiology* 41(2): 504-513.
- Materna-Kiryluk, A., Wiśniewska, K., Badura-Stronka, M., Mejnartowicz, J., Więckowska, B., Balcar-Boroń, A., Czerwionka-Szaflarska, M., Gajewska, E., Godula-Stuglik, U., Krawczyński, M., Limon, J., Rusin, J., Sawulicka-Oleszczuk, H., Szwalkiewicz-Warowicka, E., Walczak, M., Latos-Bieleńska, A. 2009. Parental age as a risk factor for isolated congenital malformations in a Polish population. *Paediatric and Perinatal Epidemiology* 23(1): 29-40.
- Matthews, H., Penington, T., Saey, I., Halliday, J., Muggli, E., Claes, P. 2016. Spatially dense morphometrics of craniofacial sexual dimorphism in 1-year-olds. *Journal of anatomy* 229(4): 549-559.

- McAvinchey, G., Maxim, F., Nix, B., Djordjevic, J., Linklater, R., Landini, G. 2014. The perception of facial asymmetry using 3-dimensional simulated images. *The Angle Orthodontist* 84(6): 957-965.
- McKinnon, M. R., Simpson, E. K., Henneberg, M. 2018. Growth patterns and individual variation in mid-sagittal facial soft tissue depth from childhood to adulthood. *Journal of forensic sciences* 63(6): 1641-1651.
- Menegaz, R. A., Sublett, S. V., Figueroa, S. D., Hoffman, T. J., Ravosa, M. J., Aldridge, K. 2010. Evidence for the influence of diet on cranial form and robusticity. *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology* 293(4): 630-641.
- Moreira, R. S., Sgrott, E. A., Stuker, H., Alonso, L. G., Smith, R. L. 2008. Palatal asymmetry during development: an anatomical study. *Clinical Anatomy: The Official Journal of the American Association of Clinical Anatomists and the British Association of Clinical Anatomists* 21(5): 398-404.
- Morgenstern, H., Thomas, D. 1993. Principles of study design in environmental epidemiology. *Environmental health perspectives* 101(suppl 4): 23-38.
- Moslerová, V., Dadáková, M., Dupej, J., Hoffmannová, E., Borský, J., Černý, M., Bejda, P., Kočandrlová, K., Velemínská, J. 2018. Three-dimensional assessment of facial asymmetry in preschool patients with orofacial clefts after neonatal cheiloplasty. *International journal of pediatric otorhinolaryngology* 108: 40-45.
- Muñoz, S. R. T., Cantín, M., Rojas, F. J. P., Galdames, I. S. 2011. Evaluation of facial asymmetry using soft-tissue thickness for forensic purposes. *International Journal of Morphology* 29(3): 1033-1039.
- Myronenko, A., Song, X. 2010. Point set registration: Coherent point drift. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 32(12): 2262-2275.
- Nissan, J., Gross, M. D., Shifman, A., Tzadok, L., Assif, D. 2004. Chewing side preference as a type of hemispheric laterality. *Journal of oral rehabilitation* 31(5): 412-416.
- Nur, R. B., Çakan, D. G., Arun, T. 2016. Evaluation of facial hard and soft tissue asymmetry using cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 149(2): 225-237.
- Obeidat, B. R., Khader, Y. S., Amarin, Z. O., Kassawneh, M., Al Omari, M. 2010. Consanguinity and adverse pregnancy outcomes: the north of Jordan experience. *Maternal and Child Health Journal* 14(2): 283-289.

- Özener, B. 2010a. Brief communication: Facial fluctuating asymmetry as a marker of sex differences of the response to phenotypic stresses. *American journal of physical anthropology* 143(2): 321-324.
- Özener, B. 2010b. Fluctuating and directional asymmetry in young human males: effect of heavy working condition and socioeconomic status. *American journal of physical anthropology* 143(1): 112-120.
- Özener, B., Pelin, C., Kürkçüoğlu, A., Ertuğrul, B., Zağyapan, R. 2011. Analysis of facial directional asymmetry in extreme handed young males and females. *Eurasian Journal of Anthropology* 2(2): 96–110.
- Palmer, A. R. 1994. Fluctuating asymmetry analyses: a primer. *Developmental Instability: its origins and evolutionary implications*: 335-364.
- Park, J. U., Kook, Y. A., Kim, Y. 2012. Assessment of asymmetry in a normal occlusion sample and asymmetric patients with three-dimensional cone beam computed tomography: a study for a transverse reference plane. *The Angle Orthodontist* 82(5): 860-867.
- Patel, A., Islam, S. M. S., Murray, K., Goonewardene, M. S. 2015. Facial asymmetry assessment in adults using three-dimensional surface imaging. *Progress in Orthodontics* 16(36): 1-9.
- Peitsch, W. K., Keefer, C. H., LaBrie, R. A., Mulliken, J. B. 2002. Incidence of cranial asymmetry in healthy newborns. *Pediatrics* 110(6): e72-e72.
- Pogliani, L., Mameli, C., Fabiano, V., Zuccotti, G. V. 2011. Positional plagiocephaly: what the pediatrician needs to know. A review. *Child's Nervous System* 27(11): 1867.
- Prete, G., Tommasi, L. 2018. The Own-Race Bias and the cerebral hemispheres. *Social neuroscience* 1-10.
- Primožic, J., Perinetti, G., Zhurov, A., Richmond, S., Ovsenik, M. 2012. Assessment of facial asymmetry in growing subjects with a three-dimensional laser scanning system. *Orthodontics & craniofacial research* 15(4): 237-244.
- Primožic, J., Perinetti, G., Contardo, L., Ovsenik, M. 2017. Facial soft tissue changes during the pre-pubertal and pubertal growth phase: a mixed longitudinal laser-scanning study. *European journal of orthodontics* 39(1): 52-60.
- Ramirez-Yañez, G. O., Stewart, A., Franken, E., Campos, K. 2011. Prevalence of mandibular asymmetries in growing patients. *European journal of orthodontics* 33(3): 236-242.

- Ras, F., Habets, L. L., van Ginkel, F. C., Prahl-Andersen, B. 1994. Facial left-right dominance in cleft lip and palate: three-dimension evaluation. *The Cleft Palate - Craniofacial Journal* 31(6): 461-465.
- Rhodes, G., Louw, K., Evangelista, E. 2009. Perceptual adaptation to facial asymmetries. *Psychonomic Bulletin & Review* 16(3): 503-508.
- Rothman, K. J., Greenland, S. 1998. Types of epidemiologic studies. *Modern epidemiology*. 2nd ed: Lippincott Raven: 74-75.
- Rowe, L., Repasky, R. R., Palmer, A. R. 1997. Size-dependent asymmetry: fluctuating asymmetry versus antisymmetry and its relevance to condition-dependent signaling. *Evolution* 51(5): 1401-1408.
- Russo, P. P., Smith, R. L. 2011. Asymmetry of human skull base during growth. *International Journal of Morphology* 29(3): 1028-1032.
- Serel, A. S., İnal, Ö., Demir, N., Ölmez, M. S., Karaduman, A. A. 2017. Chewing side preference is associated with hemispheric laterality in healthy adults. *Somatosensory & motor research* 34(2): 92-95.
- Sforza, C., Laino, A., Grandi, G., Pisoni, L., Ferrario, V. F. 2010. Three-dimensional facial asymmetry in attractive and normal people from childhood to young adulthood. *Symmetry* 2(4): 1925-1944.
- Shackelford, T. K., Larsen, R. J. 1997. Facial asymmetry as an indicator of psychological, emotional, and physiological distress. *Journal of Personality and Social Psychology* 72: 456-466.
- Singh, D., Rosen, V. C. 2001. Effects of maternal body morphology, morning sickness, gestational diabetes and hypertension on fluctuating asymmetry in young women. *Evolution and Human Behavior* 22(6): 373-384.
- Smith, W. M. 1998. Hemispheric and facial asymmetry: faces of academe. *Journal of cognitive neuroscience* 10(6): 663-667.
- Smith, W. M. 2000. Hemispheric and facial asymmetry: gender differences. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition* 5(3): 251-258.
- Stauber, I., Vairaktaris, E., Holst, A., Schuster, M., Hirschfelder, U., Neukam, F. W., Nkenke, E. 2008. Three-dimensional analysis of facial symmetry in cleft lip and palate patients using optical surface data. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie* 69(4): 268-282.

- Šlaj, M., Ježina, M. A., Lauc, T., Rajić-Meštrović, S., Mikšić, M. 2003. Longitudinal dental arch changes in the mixed dentition. *The Angle Orthodontist* 73(5): 509-514.
- Švegar, D. 2016. What does facial symmetry reveal about health and personality? *Polish Psychological Bulletin* 47(3): 356-365.
- Taylor, H. O., Morrison, C. S., Linden, O., Phillips, B., Chang, J., Byrne, M. E., Sullivan, S. R., Forrest, C. R. 2014. Quantitative facial asymmetry: using three-dimensional photogrammetry to measure baseline facial surface symmetry. *Journal of Craniofacial Surgery* 25(1): 124-128.
- Thiesen, G., Kim, K. B. 2016. Criteria for determining facial asymmetries. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 150(6): 910.
- Van Dongen, S., Cornille, R., Lens, L. 2009. Sex and asymmetry in humans: what is the role of developmental instability? *Journal of evolutionary biology* 22(3): 612-622.
- Van Valen, L. 1962. A study of fluctuating asymmetry. *Evolution* 16(2): 125-142.
- Velemínská, J., Bigoni, L., Krajíček, V., Borský, J., Šmahelová, D., Cagáňová, V., Peterka, M. 2012. Surface facial modelling and allometry in relation to sexual dimorphism. *HOMO- Journal of Comparative Human Biology* 63(2): 81-93.
- Verhoeven, T., Xi, T., Schreurs, R., Bergé, S., Maal, T. 2016. Quantification of facial asymmetry: a comparative study of landmark-based and surface-based registrations. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 44(9): 1131-1136.
- von Cramon-Taubadel, N., Frazier, B. C., Lahr, M. M. 2007. The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: theory, methods, and modifications. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists* 134(1): 24-35.
- Yoon, K. W., Yoon, S. J., Kang, B. C., Kim, Y. H., Kook, M. S., Lee, J. S., Palomo, J. M. 2014. Deviation of landmarks in accordance with methods of establishing reference planes in three-dimensional facial CT evaluation. *Imaging Science in Dentistry* 44(3): 207-212.
- Żądzińska, E., Koziel, S., Kurek, M., Spinek, A. 2013. Mother's trauma during pregnancy affects fluctuating asymmetry in offspring's face. *Anthropologischer Anzeiger* 70(4): 427-437.